

**Universidad Carlos III de Madrid**

**Escuela Politécnica Superior**

**Departamento de Ingeniería térmica y de fluidos  
Área de Ingeniería térmica**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

***ESTUDIO ACERCA DEL EMPLEO DE LA BOMBA  
MANUAL DE AGUA EN EL ÁMBITO RURAL EN  
PAÍSES EN VIAS DE DESARROLLO***

**Autor: UNAI TOMILLO GUTIÉRREZ**

**Director: ULPIANO RUIZ-RIVAS HERNANDO**

**Ingeniería Industrial**

**Madrid 23 de Febrero de 2005**

# ÍNDICE

<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>1 El agua dulce en el planeta</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Situación actual de los recursos hídricos</b>	<b>7</b>
1.1.1 Recursos hídricos en el planeta	7
1.1.1.1 Valoración de los recursos hídricos	8
1.1.1.2 Ciclo hidrológico	10
1.1.1.3 Aguas subterráneas	11
1.1.2 Explotación del agua	14
1.1.2.1 Necesidades de agua potable	16
1.1.2.2 Otras necesidades de agua	20
1.1.2.3 Sobreexplotación de los recursos. Riesgos	21
1.1.3 Cambio climático	23
<b>1.2 Tecnologías para el abastecimiento de agua</b>	<b>24</b>
1.2.1 Breve revisión de las técnicas y tecnologías existentes	24
1.2.1.1 Sistemas de punto único	24
1.2.1.2 Fuente pública de agua	24
1.2.1.3 Conexiones domiciliarias	24
1.2.2 Tecnologías de implantación en zonas rurales	25
1.2.2.1 Captaciones superficiales	25
1.2.2.2 Captaciones subterráneas	26
1.2.2.3 Transporte y distribución	29
<b>1.3 Revisión del marco político e institucional internacional existente relacionado con el abastecimiento de agua potable</b>	<b>29</b>
1.3.1 Análisis de la evolución de las políticas internacionales	29
1.3.2 Exposición de metas y objetivos	34
1.3.3 Evaluación de métodos financieros	35
1.3.4 Las organizaciones no gubernamentales	37
<b>2 Estudio de las necesidades de consumo doméstico de agua</b>	<b>38</b>
<b>2.1 Necesidades de consumo de agua por persona y día</b>	<b>38</b>
2.1.1 Usos del agua	39
2.1.2 Cuantificación. Modelos. Tendencias	39
2.1.2.1 Necesidad directa de consumo de agua	39
2.1.2.2 Agua necesaria para la elaboración de comidas	41
2.1.2.3 Agua necesaria para la higiene	42
2.1.2.4 Agua necesaria para asegurar el saneamiento	45
2.1.2.5 Agua necesaria para el mantenimiento de los ecosistemas	46
2.1.2.6 Otras necesidades de agua	46
2.1.3 Conclusiones	46
<b>2.2 Necesidades específicas de consumo de agua potable en poblaciones rurales</b>	<b>50</b>
2.2.1 Agua necesaria para agricultura y ganadería de subsistencia	50

<b>3</b>	<b><i>Bombas manuales de agua</i></b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Introducción a la bomba manual</b>	<b>53</b>
3.1.1	Sistemas de bombeo habituales en el primer mundo y su aplicación en el tercero	54
3.1.1.1	Motores	55
3.1.1.2	La bomba centrífuga	55
3.1.1.3	El Ariete Hidráulico	57
3.1.1.4	La Bomba Hidroneumática	57
3.1.1.5	Energía eólica	58
3.1.1.6	Energía solar	58
3.1.2	Sistemas de bombeo manual	59
3.1.2.1	Elevación directa	59
3.1.2.2	Desplazamiento	61
3.1.3	La bomba manual como mecanismo de desarrollo	62
3.1.3.1	Internacionalización de los proyectos de bombeo manual	62
3.1.3.2	Evolución de la intervención de los organismos internacionales	63
3.1.3.3	Desarrollo del concepto VLOM	65
3.1.3.4	Actualidad y expectativas de las instalaciones de bombeo manual	66
3.1.4	Utilización de la bomba manual	67
3.1.4.1	Autoridades estatales	67
3.1.4.2	Autoridades locales	68
3.1.4.3	Comunidad	68
3.1.4.4	Localización	69
3.1.4.5	Estandarización	70
3.1.4.6	Concepto VLOM	71
3.1.4.7	Costes	71
3.1.4.8	Sector privado	73
<b>3.2</b>	<b>Estudio de la potencia humana aplicada al manejo de bombas manuales de agua</b>	<b>74</b>
3.2.1	Introducción al estudio del esfuerzo humano	74
3.2.2	Estudios fisiológicos del esfuerzo humano: Ergometría	75
3.2.2.1	Relación del esfuerzo con la ergonomía del equipo	76
3.2.2.2	Relación entre esfuerzo y condicionantes exteriores	77
3.2.2.3	Relación del esfuerzo con las características corporales	77
3.2.2.3.1	Sexo	78
3.2.2.3.2	Edad	79
3.2.2.3.3	Estado físico	80
3.2.2.3.4	Peso	80
3.2.3	Valoración del esfuerzo humano en las instalaciones actuales de bombeo manual	81
3.2.4	Discusión	87
<b>3.3</b>	<b>Estudio técnico de las bombas manuales de agua</b>	<b>91</b>
3.3.1	Parámetros básicos de estudio: profundidad, potencia, caudal, pérdidas, eficiencia	91
3.3.1.1	Altura de bombeo	91
3.3.1.2	Caída de los niveles de agua subterráneos	92
3.3.1.3	Caudal de trabajo	94
3.3.1.4	Rendimiento de la instalación	94
3.3.2	Bombas de pistón	94

3.3.2.1	Estructura genérica	95
3.3.2.2	Principio de funcionamiento del pistón	97
3.3.2.3	Bombas de succión	99
3.3.2.4	Bombas de acción directa	100
3.3.2.5	Bombas de pozo profundo	102
3.3.2.6	Recopilación y análisis de resultados experimentales	106
3.3.3	Bombas de diafragma	111
3.3.3.1	Principio de funcionamiento	111
3.3.3.2	Bombas Vergnet	112
3.3.3.3	Bombas Abi-ASM	113
3.3.3.4	Recopilación y análisis de resultados experimentales	114
3.3.4	Bombas de cubo y cuerda	116
3.3.5	Bombas de mecate	117
3.3.5.1	Principio de funcionamiento	118
3.3.5.2	Partes fundamentales de la estructura de la bomba	119
3.3.5.2.1	Rueda o polea motriz	119
3.3.5.2.2	Tubo de subida	120
3.3.5.2.3	Guías	121
3.3.5.2.4	Pistones	121
3.3.5.3	Recopilación y análisis de resultados experimentales	122
<b>4</b>	<b><i>Ejemplo de diseño de instalación en una comunidad rural</i></b>	<b>127</b>
4.1	Definición de la población a estudio	127
4.2	Desarrollo del diseño de la instalación	129
4.3	Resultados de la instalación sobre el terreno	134
4.4	Discusión del diseño	140
<b>5</b>	<b><i>Conclusiones y desarrollo futuro del informe</i></b>	<b>141</b>
<b>6</b>	<b><i>Bibliografía</i></b>	<b>145</b>
<b>7</b>	<b><i>Listado de organizaciones internacionales relacionadas</i></b>	<b>154</b>

# Introducción

En los últimos treinta años, a raíz del trabajo de estudio de múltiples organismos internacionales se ha venido denunciando la alarmante situación de grandes masas de población en el ámbito del abastecimiento de agua potable en los países más explotados del planeta. Naciones Unidas a través de numerosos informes ha planteado que en el año 2000, había más de 2.100 millones de personas utilizando una cantidad de agua inferior a la considerada como imprescindible para evitar afecciones en la salud relacionadas con la escasez, y que en 2050, se calcula que habrá cerca de 4.200 millones de personas (más del 45% del total mundial) que estarán viviendo en países donde la población estará por debajo de este consumo básico de agua.

Esta problemática se ve agravada en muchas situaciones por el empleo de aguas provenientes de fuentes no saneadas. Según la organización mundial de la salud (OMS), entre 2.400 y 3.000 millones de personas utilizan diariamente estas fuentes. Esas limitaciones son más alarmantes en las zonas rurales, donde un 62% de los residentes carecen de acceso a fuentes saneadas (CSD 1997b). En los años 90, el número de niños muertos por diarrea —causada por la falta de agua saneada— superó a las víctimas de conflictos armados registradas desde la Segunda Guerra Mundial (Ahrtag 1995). Además, la mitad de las camas hospitalarias del mundo están ocupadas por pacientes con enfermedades transmitidas por el agua, lo que significa que se están utilizando servicios sanitarios para tratar enfermedades que podrían prevenirse fácilmente. A partir de esta situación han surgido dentro de los diversos organismos internacionales, desde UNICEF, FAO, PNUD dependientes de Naciones Unidas, la OMS, el Banco Mundial, y un número creciente de ONG, numerosos programas para resolver esta problemática. En estos programas de intervención ha destacado la opción del bombeo manual como tecnología para enfrentar esta situación. A raíz de este uso ha proliferado el diseño de bombas manuales, adquiriendo un papel importante para el abastecimiento de agua en numerosos países y desarrollándose modelos específicos para cada zona en cuestión. Según la SKAT organismo responsable del monitoreo de los programas en este ámbito del Banco Mundial, actualmente más de 1000 millones de personas basan su abastecimiento en el empleo de bombas manuales.

Con este trabajo se va a tratar de delimitar la capacidad real de este bombeo manual para el abastecimiento de agua empleada en el consumo doméstico en un ámbito rural, o de poblaciones dispersas. Para ello habremos de coordinar diferentes marcos de investigación, debido al carácter multidisciplinar del estudio. Nuestro objetivo será analizar todos los parámetros que definen el uso de estos sistemas de bombeo manual, tales como el entorno de implantación, la evaluación de las necesidades de consumo diario de agua para una persona, la potencia que manualmente podrá desarrollar dicha persona en el bombeo, las características técnicas y tecnológicas de los equipos más empleados o las especificaciones relacionadas con las condiciones del terreno y la población usuaria. Esta revisión nos permitirá evaluar la capacidad del bombeo manual, y al mismo tiempo facilitará el estudio y diseño de este tipo de instalaciones.

Para realizar este análisis iremos dimensionando los distintos parámetros básicos, como el volumen de agua necesario por persona y día  $V$ , el esfuerzo desarrollable por los usuarios  $\dot{W}_{bombeo}$ , la altura de bombeo característica  $h$ , el rendimiento de los equipos  $\eta_{bomba}$ , el caudal de trabajo  $Q$  o el tiempo necesario de bombeo  $t_{bombeo}$ . Todos estos parámetros se encuentran relacionados mediante ecuaciones sencillas. En primer lugar, definiendo el volumen de agua necesaria por persona y día, el caudal proporcionado por la bomba y el tiempo de bombeo por persona y día, estarán relacionadas según:

$$(1) \quad Q \cdot t_{bombeo / p.d.} = V$$

Si consideramos que generalmente las labores de abastecimiento se realizan dentro de los grupos familiares y recaen en 1 o 2 de los miembros de este grupo, la ecuación queda:

$$(2) \quad Q \cdot t_{bombeo} = \frac{N_f}{n_b} V$$

Donde  $t_{bombeo}$  es el tiempo necesario de bombeo por parte del encargado del abastecimiento,  $N_f$  es el número medio de miembros por familia y  $n_b$  el número medio de encargados del abastecimiento por familia. Por otro lado, el caudal proporcionado y la altura de extracción definen la potencia útil de la bomba mediante la ecuación.

$$(3) \quad \dot{W}_{\text{útil}} = \rho g h Q$$

La potencia útil se relaciona con la potencia real suministrada por el operario a través del rendimiento de la bomba, en el que se consideran todas las pérdidas (rendimiento fluidodinámico, rozamientos y otras pérdidas mecánicas, fugas, etc.).

$$(4) \quad \dot{W}_{bombeo} = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{\eta_{bomba}} = \frac{\rho g h Q}{\eta_{bomba}}$$

En general, para el diseño de un nuevo sistema, partiremos de los datos del pozo y la bomba ( $h, \eta_{bomba}$ ), de las necesidades que se pretende atender ( $V$ ) y de las características de la población dedicada al abastecimiento ( $\dot{W}_{bombeo}$ ).

Con ello obtendremos el tiempo necesario de bombeo a partir de las ecuaciones anteriores:

$$(5) \quad t_{\text{bombeo}} = \frac{\rho g h V}{\eta_{\text{bomba}} \dot{W}_{\text{bombeo}}}$$

Este parámetro es el que, en definitiva, definirá la validez del proyecto. Nótese que la última ecuación no es tan sencilla como parece ya que, generalmente,  $\dot{W}_{\text{bombeo}} = f(t_{\text{bombeo}})$

Por lo que a partir del volumen de agua necesario, la profundidad de bombeo, el rendimiento del equipo en cuestión y la potencia introducida conoceremos el tiempo que los usuarios emplearán en el abastecimiento de agua, lo que nos permitirá dimensionar la capacidad de una instalación de bombeo manual, determinando el número de usuarios que podrán emplearla, sus horas de funcionamiento imprescindibles y cual será su comportamiento esperado. Además facilitará el cálculo del tiempo total que emplea cada usuario en su abastecimiento de agua sumando a este tiempo de bombeo, el tiempo gastado en el desplazamiento hasta la fuente. A partir de lo cual podremos evaluar si este tiempo total está dentro de lo razonable dentro de las necesidades básicas diarias de una persona para garantizar el uso de esa bomba manual para el abastecimiento de agua:

$$(6) \quad t_{\text{abastecimiento}} = t_{\text{bombeo}} + t_{\text{desplazamiento}}$$

Este  $t_{\text{abastecimiento}}$  marcará si la instalación de bombeo manual realmente esta asegurando el acceso de agua potable a sus usuarios. Si este tiempo esta fuera de un intervalo que definiremos como razonable, nuestro equipo, aunque permita el acceso a una fuente de agua no contaminada, no logrará que la población lo use para el abastecimiento, ya que esta recurrirá a reducir su consumo o a suplirlo con aguas provenientes de fuentes no saneadas.

Estas instalaciones de bombeo manual se verán además limitadas a situaciones en las que la altura de bombeo,  $h_{\text{bombeo}}$ , no sea tan elevada que permita para la potencia desarrollable por los usuarios,  $\dot{W}_{\text{bombeo}}$ , con la tecnología en cuestión, bombear un caudal de agua aceptable.

El presente estudio está organizado de la siguiente manera.

- Comenzaremos nuestro estudio analizando en el primer capítulo la situación del agua dulce actualmente en el planeta. A través del estado de los recursos hídricos y de su explotación por el ser humano podremos establecer las limitaciones que nuestro propio desarrollo esta produciendo, ya sea por el abuso que hacemos del agua, como por el desequilibrio que existe en su consumo mundial entre las zonas ricas y las más explotadas. Además, en este primer capítulo, para encuadrar el bombeo manual, introduciremos muy brevemente las diferentes tecnologías que actualmente son empleadas en el abastecimiento de agua dentro de nuestro ámbito de estudio y el papel que ocupan estas bombas manuales. Por último en este capítulo hemos considerado importante detallar la evolución de las políticas internacionales relacionadas con el abastecimiento de agua y en particular las directamente responsables en impulsar el empleo del bombeo manual. Haremos una breve revisión de los métodos de financiación de estas políticas y del papel desempeñado por las organizaciones no gubernamentales.
- Una vez que hemos considerado la trascendencia para millones de personas del desarrollo de las tecnologías para el abastecimiento de agua, pasaremos a delimitar qué

factores son claves dentro de este abastecimiento y cuáles habremos de analizar para dimensionar realmente la capacidad del bombeo manual para enfrentar la escasez de agua. Partiendo de este objetivo será fundamental establecer las necesidades de consumo doméstico de agua para cada persona, tarea que desarrollaremos en el segundo capítulo.

- En el tercer capítulo nos introduciremos en la descripción técnica de las bombas manuales, estudiando los diferentes sistemas de bombeo, su historia y evolución y los agentes sociales, culturales y políticos que condicionan su utilización. A continuación determinaremos que parámetros fundamentales condicionan su funcionamiento. Para ello estudiaremos primero la potencia con la que trabajará un equipo de bombeo manual, el esfuerzo humano, analizando las distintas disciplinas que han dimensionado la potencia humana y la relación de esta con factores determinantes como la edad, el sexo o el peso de los usuarios, o la ergonomía de la instalación. Una vez determinados unos valores estándar de potencia introducida finalizaremos este estudio detallando los distintos diseños existentes de bombas manuales analizando sus características técnicas fundamentales, su principio de funcionamiento, y su rendimiento. Comenzaremos con la bomba manual más utilizada, basada en un mecanismo de pistón, para después referirnos a otras no tan habituales, pero que están alcanzando un desarrollo notable, como las bombas de diafragma fundamentadas en el movimiento de una membrana o las bombas de mecate que emplean una cuerda con pistones para elevar el agua. A través de este estudio técnico detallaremos la relación existente entre las necesidades de abastecimiento consideradas en el segundo capítulo, la potencia estudiada en el tercer capítulo que realmente pueden introducir los usuarios, y los parámetros técnicos que determinan una instalación de bombeo manual, como la altura o profundidad de bombeo y el rendimiento de la bomba.
- En la parte final de este trabajo pretenderemos contrastar la utilidad de todo este estudio a través de analizarlo aplicando sus conclusiones a un caso práctico, para una comunidad en un ámbito rural de un país del tercer mundo donde se plantea la instalación de un sistema de bombeo manual.
- El presente trabajo termina con unas conclusiones sobre su utilidad y ámbito y un comentario sobre los trabajos futuros que continuarán la línea seguida aquí.



# **1 El agua dulce en el planeta**

En este primer capítulo vamos a describir un recorrido que nos permita dimensionar la trascendencia de los sistemas de abastecimiento de agua en el planeta. Para ello comenzaremos detallando cual es la situación de los recursos hídricos y cual puede ser su evolución, analizando los factores que están contribuyendo a la escasez de agua en amplias zonas del planeta. A continuación evaluaremos las tecnologías que se están ocupando de enfrentar los problemas de abastecimiento de agua, especialmente en el ámbito rural. Para terminar en este capítulo revisaremos las iniciativas que han surgido en los últimos años desde los gobiernos de los distintos países y desde las organizaciones internacionales, centradas en afrontar este problema.

## ***1.1 Situación actual de los recursos hídricos***

Como acabamos de explicar en esta primera parte pretendemos establecer un marco que permita delimitar el problema del agua basado en la escasez y la sobreexplotación de este recurso. Partiendo de una valoración de la cantidad de agua disponible y del nivel actual de consumo y contaminación podremos explicar la trascendencia de las tecnologías de abastecimiento de agua.

### **1.1.1 Recursos hídricos en el planeta**

En este punto introduciremos unas cifras aproximadas de los recursos hídricos y analizaremos la influencia del ciclo hidrológico en estos recursos. También resaltaremos la trascendencia del agua subterránea tanto por su porcentaje respecto al total del agua dulce como por su utilidad en relación al abastecimiento de agua.

### 1.1.1.1 Valoración de los recursos hídricos

El agua es el elemento mas frecuente en la tierra, aunque en su mayoría se trata de agua salada. Únicamente un 2,53% del total es agua dulce, alrededor de 35 millones de km<sup>3</sup> (Shiklomanov, I.A. 1998). Como podemos comprobar a través de la tabla 1.1, de este porcentaje, cerca de dos terceras partes se encuentran inmovilizadas en glaciares y nieves perpetuas principalmente en la Antártida, el tercio restante está conformado principalmente por las reservas de agua subterránea y en un porcentaje mucho menor por el agua dulce existente en lagos y ríos además de los 8.000 km<sup>3</sup> que aproximadamente se encuentran almacenados en embalses.

**Tabla 1.1** Principales reservas hídricas (Shiklomanov, I.A. 1998)

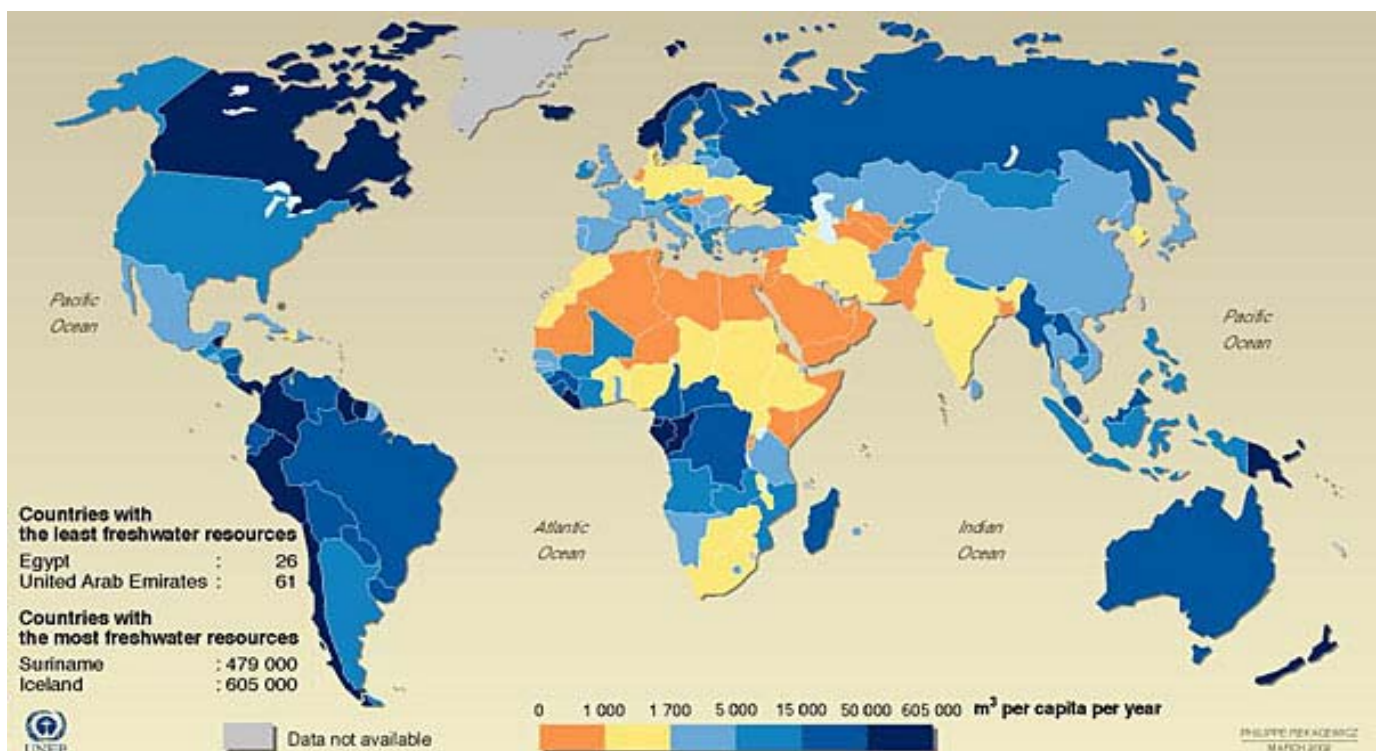
	Volumen (1.000 km <sup>3</sup> )	% del total de agua	% del total de agua dulce
<b>Agua salada</b>			
Océanos	1.338.000	96,54	
Aguas subterráneas salinas/salobres	12.870	0,93	
Lagos de agua salada	85	0,006	
<b>Aguas continentales</b>			
Glaciares, cubierta de nieve permanente	24.064	1,74	68,7
Agua dulce subterránea	10.530	0,76	30,06
Hielo del suelo, gelisuelo	300	0,022	0,86
Lagos de agua dulce	91	0,007	0,26
Humedad del suelo	16,5	0,001	0,05
Vapor de agua atmosférico	12,9	0,001	0,04
Pantanos, humedales*	11,5	0,001	0,03
Ríos	2,12	0,0002	0,006
Incorporados en la biota*	1,12	0,0001	0,003
<b>Total de agua</b>	<b>1.386.000</b>	<b>100</b>	
<b>Total de agua dulce</b>	<b>35.029</b>		<b>100</b>

\* Los pantanos, humedales y el agua incorporados en la biota son a menudo una mezcla de agua dulce y salada.  
Notas: es posible que los totales no muestren la suma exacta debido a redondeos.  
Fuente: Shiklomanov 1993.

Las principales fuentes de agua para uso humano son los lagos, ríos, la humedad del suelo y cuencas de aguas subterráneas relativamente poco profundas. La parte aprovechable proveniente de esas fuentes es aproximadamente de sólo 200.000 km<sup>3</sup> de agua, es decir menos del 1 por ciento del total de agua dulce y sólo el 0,01 por ciento de toda el agua del planeta. La gran parte de esa agua disponible está ubicada lejos de las poblaciones humanas, lo que complica aún más las cuestiones relativas al aprovechamiento del agua.

La distribución de estos recursos geográficamente es muy desigual, mientras en algunas zonas del planeta existen grandes reservas en otras la escasez es claramente predominante. Si esta distribución la relacionamos con la población en esas zonas podemos comprobar la cantidad de agua dulce disponible por persona. A partir de ahí podremos plantear realmente las posibilidades y limitaciones con que nos encontramos dentro del marco del abastecimiento de agua. Como observamos en la figura 1.1, que presenta la cantidad de agua dulce en ríos y aguas subterráneas dentro de cada país a través del consumo disponible en metros cúbicos por habitante al año, existen zonas del planeta que aún contando con grandes reservas se encuentran con altas densidades de población y por tanto con problemas en la capacidad de abastecer a sus habitantes, sería el caso de países como la India, Bangla Desh, Korea del sur, y en partes de China, Japón, Unión europea (sobre todo Alemania, Holanda, Bélgica, Dinamarca y Polonia), Sudáfrica y Centroamérica. En otros casos la escasez es debida principalmente a las limitaciones en los recursos hídricos dentro de esos países, situación que encontramos en el norte de África y en Asia occidental.

**Figura 1.1** Agua dulce disponible por países. Año 2000 (UNEP 2000).

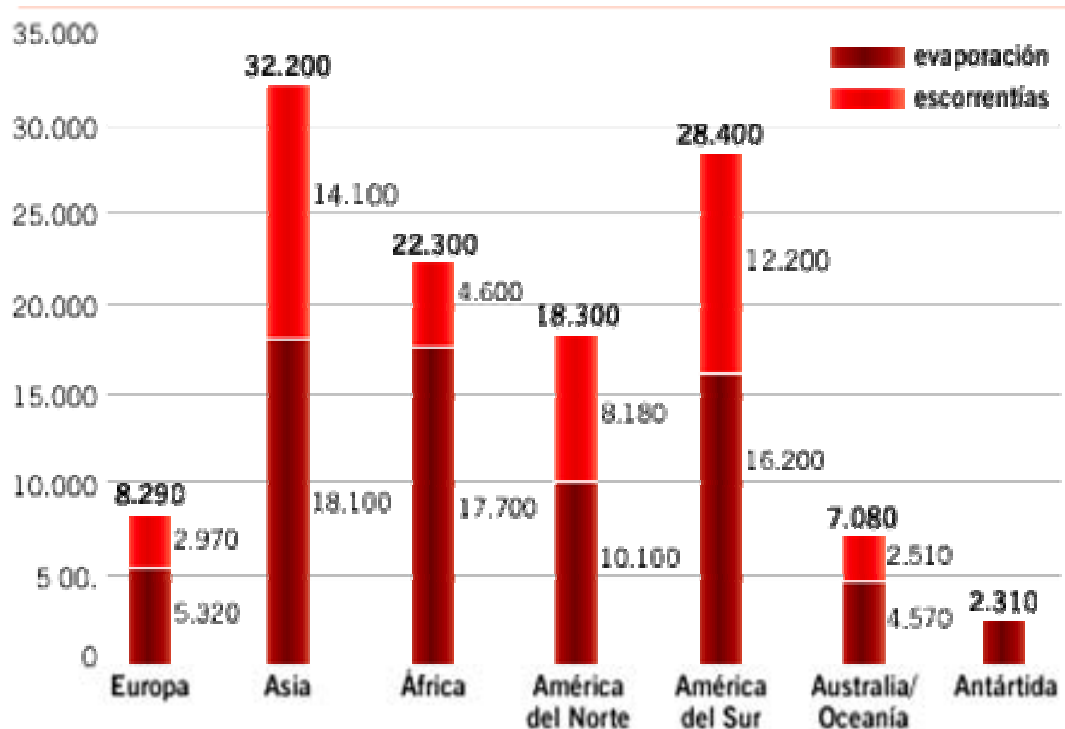


La evolución de los recursos hídricos esta directamente condicionada por la situación del ciclo natural del agua a nivel mundial.

### 1.1.1.2 Ciclo hidrológico

La evolución del agua dulce depende de la evaporación proveniente de la superficie de los océanos. Aproximadamente  $505.000 \text{ km}^3$ , lo que correspondería a una capa con 1,4 metros de espesor, se evaporan de los océanos cada año. Otros  $72.000 \text{ km}^3$  se evaporan de la tierra. Cerca del 80 por ciento del total de las precipitaciones, es decir, alrededor de  $458.000 \text{ km}^3$  /año, cae en los océanos y los restantes  $119.000 \text{ km}^3$ /año, sobre la tierra. La diferencia entre la precipitación sobre la superficie terrestre y la evaporación de esa superficie ( $119.000 \text{ km}^3$  menos  $72.000 \text{ km}^3$  por año) son las escorrentías, de aproximadamente  $47.000 \text{ km}^3$  por año (Gleick 1993). El gráfico 1.1 contiguo muestra un cálculo aproximado del balance hidrológico anual medio de las principales zonas continentales, con inclusión de precipitaciones, evaporación y escorrentías. Más de la mitad de las escorrentías totales ocurren en Asia y América del Sur, y una gran proporción, en un solo río, el Amazonas, que lleva más de  $6.000 \text{ km}^3$  de agua por año.

**Gráfico 1.1** Precipitaciones, evaporación y escorrentías por región ( $\text{Km}^3/\text{año}$ ) (Shiklomanov, I.A. 1998).



La altura de las barras muestra el total de las precipitaciones; las zonas más oscuras representan la evaporación mientras que las más claras ilustran las escorrentías. Las precipitaciones totales por año en tierra son de  $119.000 \text{ km}^3$ , de los cuales  $72.000 \text{ km}^3$  se evaporan y dejan unos  $47.000 \text{ km}^3$  de escorrentías.

Las precipitaciones son la fuente fundamental de agua para todos los usos humanos y ecosistemas. Esta precipitación es recogida por plantas y suelo, se evapora en la atmósfera y se dirige hasta el mar a través de los ríos o hasta los lagos y humedales. El agua de la evapotranspiración mantiene los bosques, las tierras de pastoreo y de cultivo no irrigadas, así como los ecosistemas. El ser humano explota un 8% del total anual de agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles (OMM 1986). El control que el hombre desarrolla sobre las aguas de escorrentía es ahora global, desempeñando un papel fundamental en el ciclo hidrológico. Las regiones más desarrolladas, de media, poseen precipitaciones pluviales notablemente superiores a las regiones en desarrollo y las menos adelantadas. Además, los países ricos pueden permitirse mayores gastos en tecnologías de depósitos y represas y desarrollar nuevas investigaciones a fin de captar el agua dulce que se escurre y el agua subterránea disponible.

La mayoría de los países usan medios insostenibles para satisfacer sus necesidades de agua (OMM 1997). Si la cantidad de agua que se utiliza es superior a la que se repone mediante procesos naturales, el exceso se extrae esencialmente de las reservas, las cuales pueden ser acuíferos locales de formación reciente o, en casos extremos, fuentes antiguas de aguas subterráneas. La capa freática en algunas ciudades de China, América Latina y el Asia meridional está descendiendo a razón de más de un metro por año. La agricultura y la industria desvían grandes cantidades de agua, con efectos a veces desastrosos. Un ejemplo alarmante es el Mar Aral, que está desapareciendo a causa del desvío con fines de riego de las aguas que lo mantenían. La construcción de presas a gran escala es ahora más lenta, particularmente en los países más desarrollados, puesto que se están poniendo de manifiesto sus desventajas: perturbación del medio ambiente, desplazamiento de poblaciones que habían estado asentadas durante mucho tiempo, pérdida de tierras agrícolas, acumulación de légamo y restricción del agua en zonas aguas abajo y a veces, del agua que se escurre hacia otros países. Sin embargo siguen construyéndose proyectos de represa en gran escala en Turquía, China y la India. Dentro de todas estas problemáticas, la situación de las aguas subterráneas merece un estudio más detallado tanto por su peso dentro de los recursos hídricos como por su descontrolada explotación mundial.

### 1.1.1.3 Aguas subterráneas

Como se analiza en la tabla 1.2, cerca de 2.000 millones de personas, aproximadamente una tercera parte de la población mundial, dependen del aprovisionamiento de aguas subterráneas y extraen entre 600 y 700 km<sup>3</sup> por año, del cual gran parte proviene de acuíferos superficiales (UNEP y otros 2000). Muchos habitantes de zonas rurales dependen completamente de las aguas subterráneas (Postel 1997, UNEP 1999).

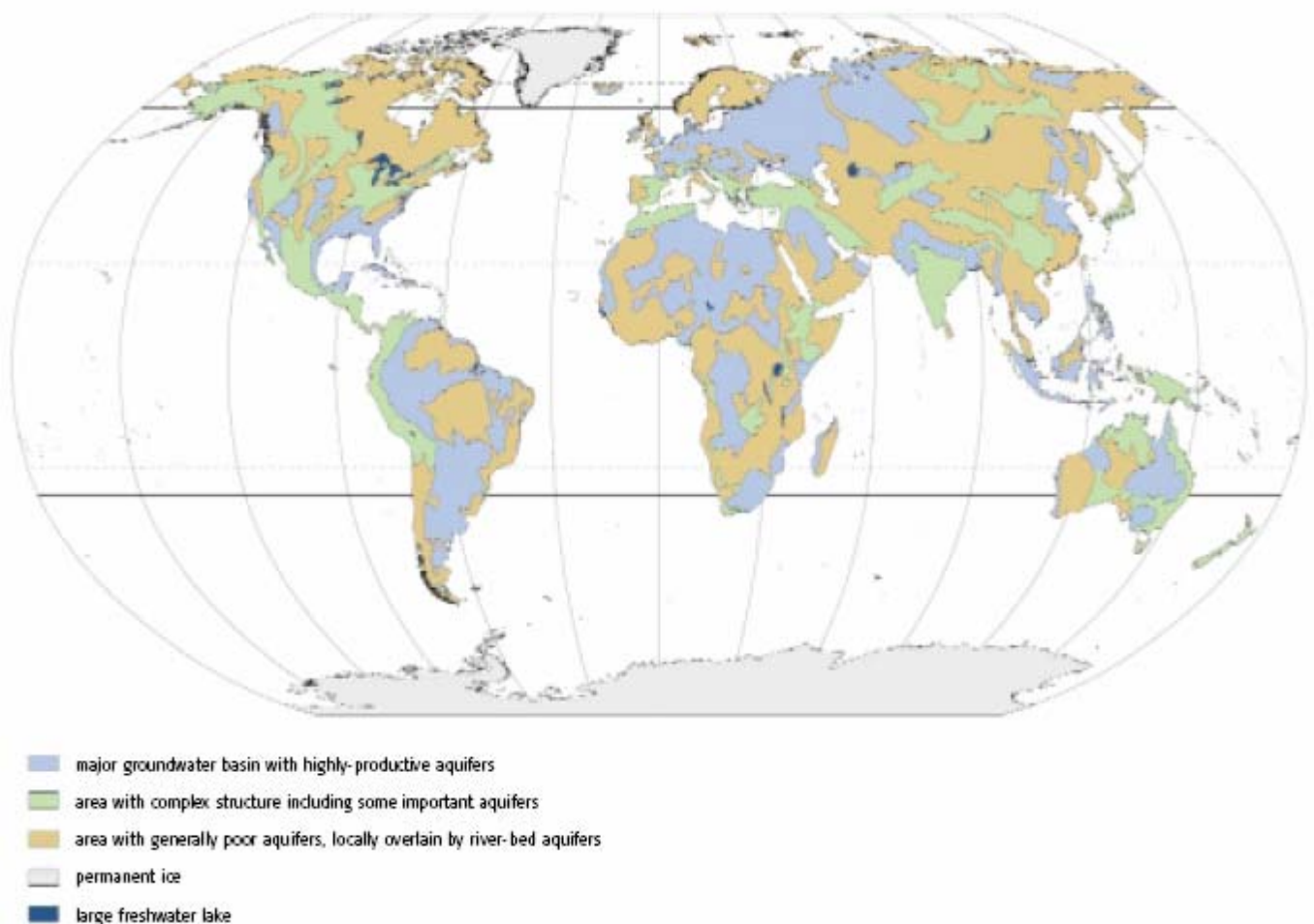
**Tabla 1.2** Porcentaje del abastecimiento de agua obtenido de las aguas subterráneas (UNEP y otros 2000).

Region	per cent	Population served (millions)
Asia-Pacific	32	1000 – 2000
Europe	75	200 – 500
Central and South America	29	150
USA	51	135
Australia	15	3
Africa	NA	NA
World	-	1500 –2750

Los acuíferos, son estratos geológicos que presentan agua, ya sea en arenas, gravas o fluyendo a través de poros y fracturas de las capas subterráneas. (*Acuífero* en latín significa "contenedor de agua".) Habitualmente, el término acuífero también se utiliza para referirse al agua contenida en cuerpos de agua subterráneos que fluyen lentamente a través del sustrato y de los estratos profundos del subsuelo. Como vemos en la figura 1.2 estos canales se extienden en algunos casos a través de miles de kilómetros cuadrados, separados por cientos de kilómetros de distancia desde las zonas lluviosas hasta los manaderos y fuentes donde emergen a la superficie. Son fuentes muy importantes de agua, y están amenazados casi en todas partes por la contaminación y el mal uso.

Los acuíferos padecen los efectos del ese mal uso (o carencia total de manejo). En muchas regiones el suministro de agua dulce de los acuíferos ha descendido catastróficamente; algunos se han agotado por completo, al menos en la estación seca.

**Figura 1.2** Recursos de aguas subterráneas en el planeta (UNEP y otros 2000).





Además se ha deteriorado seriamente la calidad de los acuíferos. Como se presenta resumidamente en la tabla 1.3, la contaminación de las aguas subterráneas de fuentes no puntuales agrícolas y urbanas es generalizada. Las escorrentías de la agricultura pueden conducir a la contaminación de los acuíferos con nitratos, plaguicidas y bacterias. La salinización de las aguas subterráneas debida al exceso de bombeo se ha identificado como un problema en muchas zonas. El uso de aguas residuales sin tratar para irrigación se ha señalado como una fuente de contaminación por nitratos y bacterias en las aguas subterráneas. Un número incontable de acuíferos han sido contaminados por fuentes puntuales, como sistemas sépticos, fugas en los tanques de almacenamiento subterráneo, derrames o disposición inadecuada de sustancias químicas industriales y filtraciones desde vertederos de residuos sólidos y peligrosos.

Al mismo tiempo que se profundiza en el estudio y comprensión de las aguas subterráneas, aumenta la preocupación sobre la calidad del agua potable de dichas fuentes. El tratamiento inadecuado de los residuos ha conducido a incidencias de cólera, amibiasis, hepatitis A, giardiasis y otras enfermedades. Los nitratos son un problema potencial en las aguas subterráneas. Los niveles elevados de éstos en el agua potable (niveles no mayores que 10 mg/litro) pueden causar methemoglobinemia o el síndrome del “niño azul” (Bachmat 1989). El sistema digestivo de los niños convierte los nitratos en nitritos, que bloquean la capacidad de la sangre del bebé para llevar oxígeno y pueden provocar asfixia y muerte.

**Tabla 1.3** Problemas relativos a la calidad de las aguas subterráneas  
(Lawrence y Morris 1998)

Problemas relativos a la calidad de las aguas subterráneas		
Problemas	Causas	Temas de preocupación
Contaminación antropogénica	Protección insuficiente de los acuíferos vulnerables contra los vertidos realizados por seres humanos y aguas de lixiviación provenientes de: <ul style="list-style-type: none"><li>● actividades urbanas e industriales</li><li>● intensificación de los cultivos agrícolas</li></ul>	Patógenos, nitratos, sales de amonio, cloro, sulfatos, boro, metales pesados, COD, hidrocarburos aromáticos y halogenados  nitratos, cloro, plaguicidas
Contaminación que ocurre naturalmente	Relacionada con la evolución del pH-Eh de las aguas subterráneas y la disolución de minerales (aggravada por la contaminación antropogénica y/o la explotación incontrolada)	Principalmente hierro, flúor y a veces, arsénico, yodo, manganeso, aluminio, magnesio, sulfatos, selenio y nitratos (de la paleomecarga)
Contaminación en la boca de los pozos	Diseño y construcción inadecuados de pozos que permiten la penetración directa de aguas superficiales o aguas subterráneas poco profundas contaminadas	Principalmente patógenos

Fuente: Foster, Lawrence y Morris 1998.

A medida que aumenta la preocupación sobre los efectos del cambio climático, los investigadores intentan comprender sus repercusiones en los recursos hídricos. Si bien reconocen que hay lagunas considerables de información sobre las consecuencias del calentamiento global en el agua subterránea, los científicos están convencidos de que la elevación de los niveles del mar potenciará el problema de la intrusión de agua salada en los acuíferos de agua dulce. Los riesgos de esto se prevén mayores en los mantos isleños poco profundos y en los acuíferos costeros muy explotados (World Water Forum 2000).

Aparte de los usos humanos que satisface, el agua subterránea realiza muchas otras funciones ecológicas fundamentales. Es parte esencial del ciclo hidrológico en que el agua se mueve constantemente, sobre y bajo la superficie del planeta. Como tal, desempeña una función importante en el mantenimiento de corrientes, ríos, lagos, humedales y comunidades acuáticas. Las interacciones de las aguas subterráneas y superficiales son complejas y variables. La función típica de los humedales suele ser recargar los acuíferos que se sitúan bajo su manto, mientras que los que se encuentran en altitudes menores suelen recibir la mayoría de sus aguas del subsuelo. La contribución de las aguas subterráneas al caudal de ríos y arroyos varía según la geología superficial y otros factores. Es además un factor fundamental en la viabilidad biológica de las corrientes tributarias. Los cambios en los niveles de las aguas subterráneas pueden tener efectos significativos en hábitats críticos como la vegetación ribereña y en la vida silvestre que de ellos dependen.

### 1.1.2 Explotación del agua

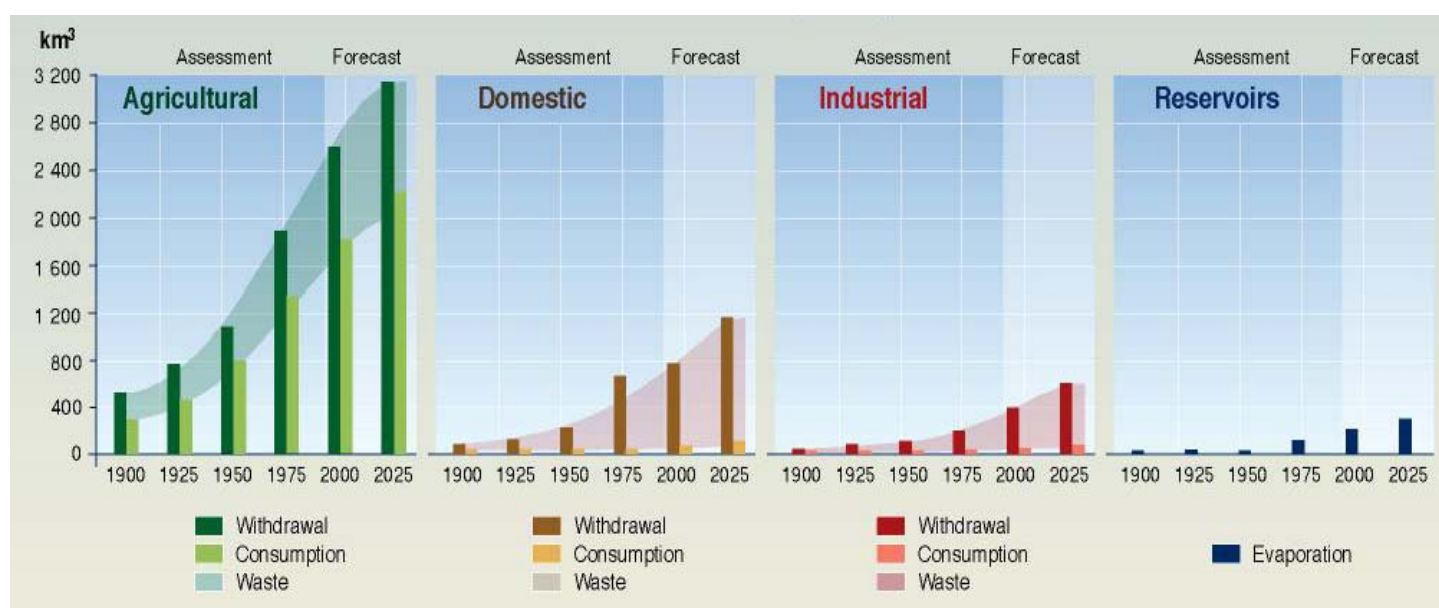
El gasto de agua per cápita aumenta en el primer mundo, la población crece y en consecuencia el porcentaje de agua objeto de apropiación se eleva. En los países desarrollados una persona consume un promedio de 500 a 800 litros de agua cada día (300 m<sup>3</sup> al año), comparado con los 60-150 litros (20 m<sup>3</sup> al año) que consume diariamente una persona en los países en vías de desarrollo. Si se suman variaciones espaciales y temporales del agua disponible, se puede decir que la cantidad de agua existente para todos los usos está comenzando a escasear y ello nos lleva a una crisis del agua. Cerca de una tercera parte de la población del planeta vive en países que sufren estrés hídrico o escasez de agua entre moderado y alto, es decir el consumo de agua es superior al 10 por ciento de los recursos renovables de agua dulce. Unos 80 países, que representan el 40 por ciento de la población mundial, sufren una grave escasez de agua a mediados del decenio de los noventa (CSD 1997a) y se calcula que en menos de 25 años dos terceras partes de la población mundial estarán viviendo en países con estrés hídrico (CSD 1997b). Se prevé que para el año 2020, el aprovechamiento de agua aumentará en un 40 por ciento y que se necesitará un 17 por ciento adicional para la producción alimentaria a fin de satisfacer las necesidades de una población en crecimiento (World Water Council 2000a).



Para algunos propósitos, las cuencas fluviales son unidades más apropiadas que los países para analizar las corrientes de agua. Muchas de las principales cuencas fluviales del mundo abarcan más de un país. Actualmente, 2.300 millones de personas viven en cuencas fluviales que al menos están sometidas a estrés hídrico; 1.700 millones viven en cuencas donde hay escasez de agua. Hacia 2025, esas cantidades serán 3.500 millones y 2.400 millones, respectivamente. A este nivel, tal vez no haya agua suficiente para proporcionar alimentos en cantidad adecuada, se obstaculice el desarrollo económico y aparezcan graves dificultades medioambientales.

Como se observa en el gráfico 1.2 los tres principales factores que causaron un aumento en la demanda de agua durante el siglo pasado fueron el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y principalmente la expansión del cultivo de regadío. En el mundo, un 70% del agua extraída para uso humano de los ríos, lagos y acuíferos se destina a la agricultura, un 22% a la industria y un 8% se utiliza para servicios domésticos. En general, estos porcentajes varían de acuerdo con el PIB nacional: en los países de ingresos bajos y medios se destina un 82% a la agricultura, un 10% a la industria y un 8% a servicios domésticos (Bajracharya 1995). En países de altos ingresos, la proporción es de 30%, 59% y 11%, respectivamente. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) prevé una expansión neta de tierras de regadío de unos 45 millones de hectáreas en 93 países en desarrollo (hasta un total de 242 millones de hectáreas en 2030) y estima que las extracciones de agua con fines agrícolas se incrementarán en un 14% entre 2000 y 2030 a fin de satisfacer las necesidades futuras de producción de alimentos (FAO 2001). La base de datos sobre los recursos hídricos en el mundo y sus usos ("World Water Resources and their Use") prevé que el volumen de agua anual utilizada para la industria aumentará de los 752 km<sup>3</sup>/año en 1995 a los 1.170 km<sup>3</sup>/año en 2025 como recoge el gráfico 1.2. Para el mismo año, se estima que el uso industrial representará cerca del 24% de la extracción total de agua dulce (Bajracharya 1995).

**Gráfico 1.2** Evolución del consumo mundial del agua dulce por sectores (UNESCO 1999)



El impacto de la industria en los recursos hídricos es doble en cuanto a:

- Cantidad: El agua es necesaria a menudo en grandes cantidades, como materia prima en numerosos procesos industriales. En algunos casos el agua puede ser utilizada como materia prima directa, formando parte del producto manufacturado y después "exportado" y desviado del sistema de agua local una vez comercializado el producto. En otros casos, y quizás el más frecuente, el agua se utiliza como materia prima indirecta para lavar y refrigerar, generar energía, cocinar y procesar alimentos entre otros usos. En este último caso, las aguas residuales pueden ser devueltas al sistema local de agua a través del sistema de alcantarillado o directamente a los ríos.

- Calidad: Aunque la industria necesita agua de buena calidad para producir, el agua vertida, tras su utilización para los procesos de producción, puede no cumplir las mismas normas de calidad. En el mejor de los casos, las plantas de tratamiento se responsabilizan de restaurar la calidad del agua para que cumpla con las normas apropiadas y sea adecuada para el reciclaje. En el peor de los casos, las aguas residuales industriales son vertidas directamente a los cursos de agua sin tratamiento previo, reduciendo la calidad de grandes volúmenes de agua y, en algunos casos, infiltrándose en acuíferos y contaminando importantes recursos hídricos subterráneos.

La planificación se ha fundamentado en que se compensaría una demanda en crecimiento dominando aún más el ciclo del agua mediante la construcción de más infraestructura. La construcción de diques en los ríos fue tradicionalmente una de las principales vías para garantizar recursos hídricos suficientes para el riego, la producción de energía hidroeléctrica y el uso doméstico. La notable alteración de cerca del 60 por ciento de los 227 ríos más grandes del mundo por medio de diques, desvíos o canales, ha tenido repercusiones catastróficas en los ecosistemas de agua dulce (WCD 2000). La infraestructura mencionada ha proporcionado una mayor producción alimentaria y energía hidroeléctrica pero ha provocado que durante los últimos 50 años, los diques transformaran los ríos del mundo y forzaran al desplazamiento de unos 40-80 millones de personas en diferentes partes del planeta, a la vez que provocaron cambios irreversibles en muchos de los ecosistemas estrechamente asociados con esos ríos.

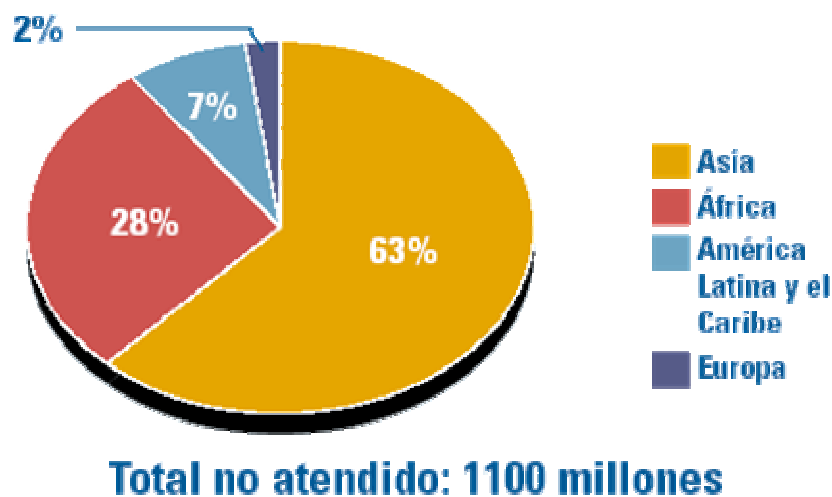
### 1.1.2.1 Necesidades de agua potable

En cada cultura existen unos hábitos diferentes en el consumo de agua con fines de uso doméstico y aún no se han determinado estándares a nivel mundial para determinar con precisión la cantidad de agua necesaria en cada ámbito cultural para la vida diaria. La norma establecida por la ONU, de la "necesidad básica de agua" (BWR) —50 litros per cápita y por día: para consumo de agua de beber, saneamiento, higiene personal, cocción de alimentos y necesidades de cocina, permite plantear una estimación aproximada de la situación mundial actual. En 61 países, que en 2000 tenían entre todos una población de 2.100 millones de personas, estaban utilizando una cantidad de agua inferior a esa consideración de necesidad diaria básica. Hacia 2050, 4.200 millones de personas (más del 45% del total mundial) estarán viviendo en países donde la población estará por debajo de esta norma. En este estándar mínimo no se toman en cuenta otros usos necesarios del agua, para la agricultura, la protección de los ecosistemas y la industria (WHO y UNICEF 2000). Un estándar de consumo de 100 litros por persona y por día reflejaría esas necesidades

adicionales; en 2000, había en 80 países 3.750 millones de personas por debajo de este nivel. La población de esos países aumentará hasta 6.400 millones hacia 2050.

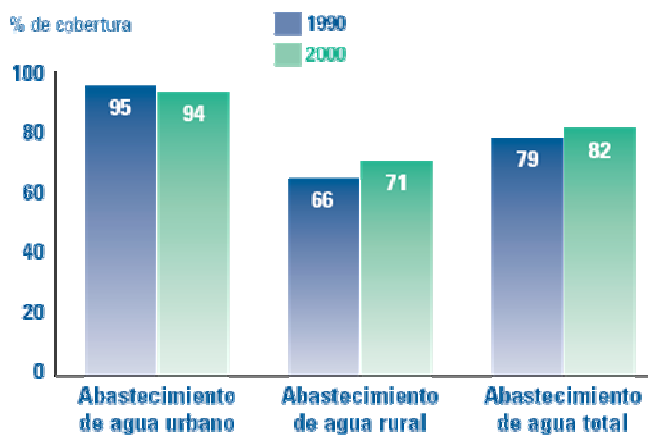
El Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000 del Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento, ofrece un panorama mundial del abastecimiento de agua en el inicio del milenio utilizando información procedente de distintas fuentes. En él se expone que en el plano mundial, 1100 millones de personas carecen de acceso a abastecimiento de agua mejorado considerando como tecnologías “mejoradas” la conexión doméstica, la fuente pública, el pozo perforado, el pozo excavado protegido, el manantial protegido o la recogida de agua de lluvia y como tecnologías “no mejoradas” el pozo no protegido, el manantial no protegido, el agua suministrada por un vendedor, el agua embotellada o el suministro de agua por camión cisterna. Como vemos en el gráfico 1.3 la inmensa mayoría de las personas sin acceso viven en Asia y en África.

**Gráfico 1.3.** Distribución de la población mundial sin abastecimiento de agua mejorado, por regiones (WHO y UNICEF 2000).

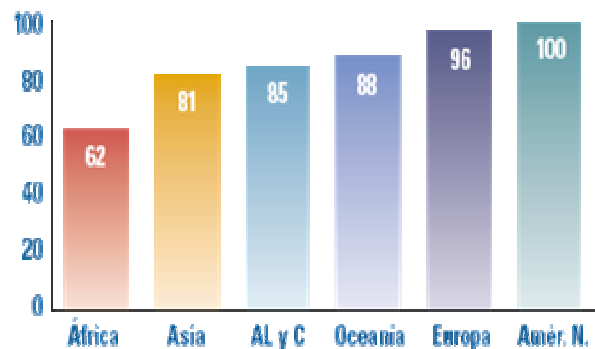


En los gráficos 1.4, 1.5, 1.6 y 1.7 (WHO y UNICEF 2000), comprobamos que a pesar de que entre 1990 y 2000 haya aumentado el número de personas con acceso a instalaciones mejoradas, el cambio en la cobertura entre 1990 y 2000 no es especialmente grande en términos porcentuales llegando incluso a reducirse en el ámbito urbano. En conjunto, el aumento del número de personas atendidas simplemente bastó para mantenerse al paso del crecimiento demográfico. Es seguro que ese crecimiento prosiga durante los decenios venideros, generando una presión cada vez mayor en unos servicios que ya están saturados, especialmente en las zonas urbanas y en África. Además vemos que la cobertura urbana es considerablemente mayor que la cobertura rural en la mayoría de las regiones. La cobertura rural tiende a ser mucho más variable de unas regiones a otras que la cobertura urbana. Por ejemplo, la cobertura del abastecimiento de agua en zonas urbanas en 2000 varía sólo entre el 85% en África y el 100% en Europa y América del Norte, mientras que la cobertura del abastecimiento de agua en zonas rurales se encuentra entre el 47% en África y el 100% en América del Norte.

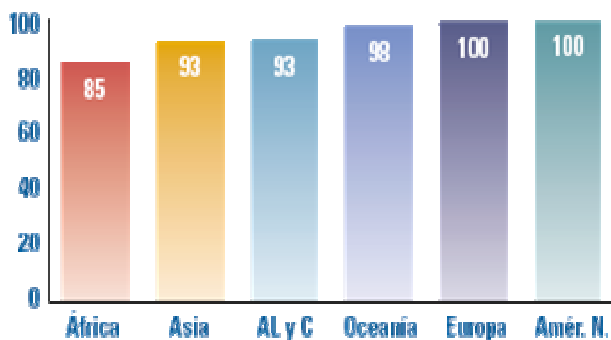
**Gráfico 1.4** Cobertura mundial del abastecimiento de agua.



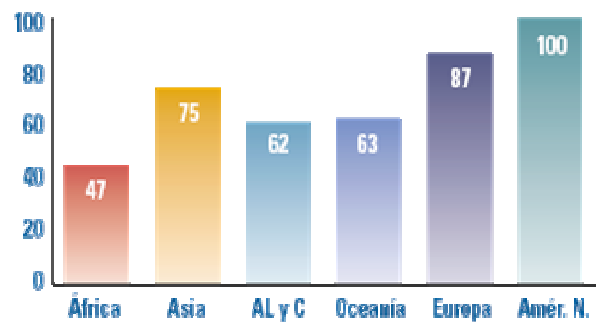
**Gráfico 1.5** Cobertura del abastecimiento de agua por regiones, 2000



**Gráfico 1.6** Cobertura urbana del abastecimiento de agua por regiones, 2000

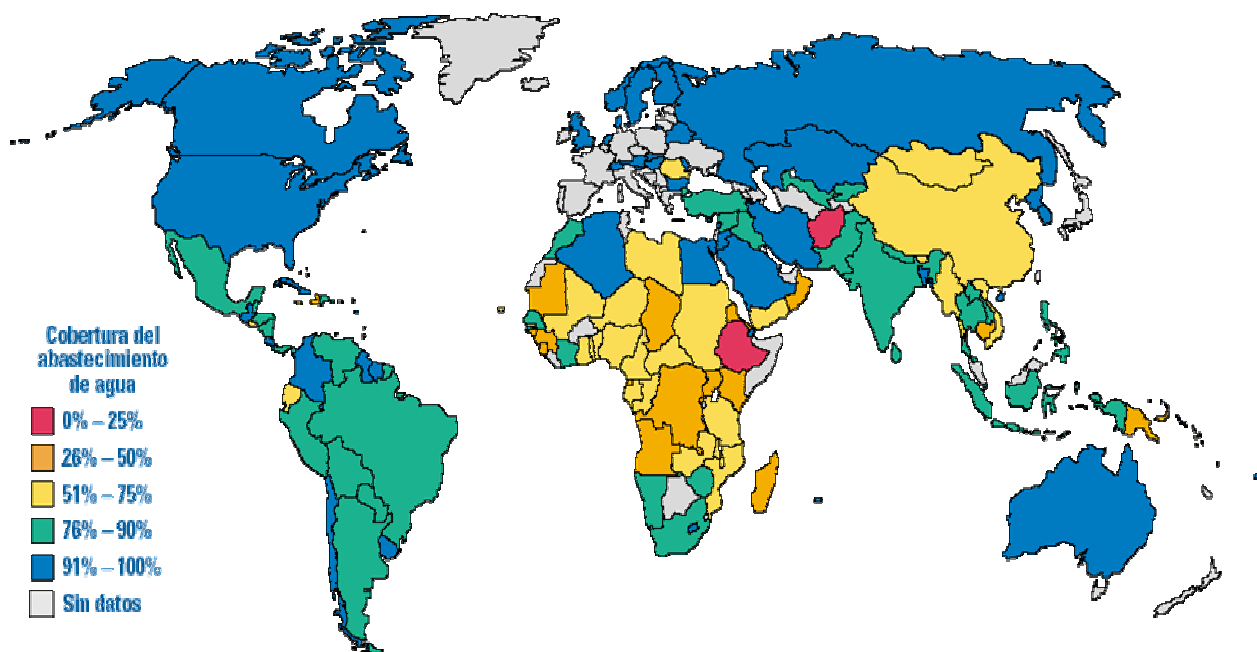


**Gráfico 1.7** Cobertura rural del abastecimiento de agua por regiones, 2000



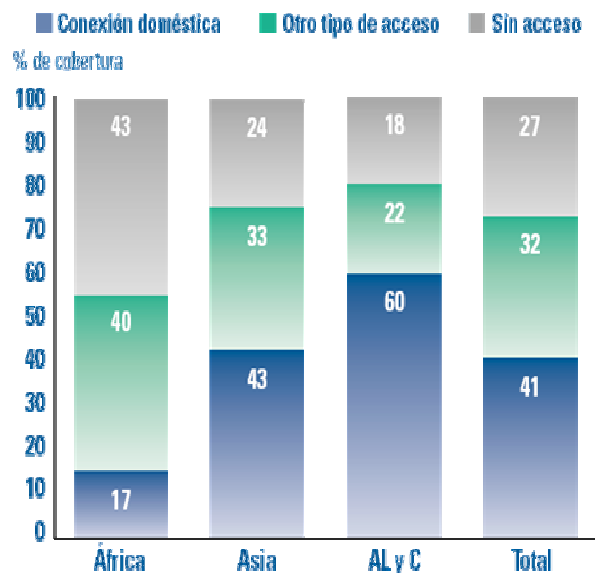
A continuación la figura 1.3 (WHO y UNICEF 2000), nos permite evaluar la cobertura por categorías de 25%, 50% y 75%, y planteando en la parte superior de la escala una categoría más, del 91% al 100% con el objetivo de destacar las diferencias dentro de regiones como América Latina y el Caribe, donde muchos países entrarían en la categoría de 76% – 100%. El mapa muestra claramente que muchos países africanos tienen una baja cobertura de abastecimiento de agua mejorado.

**Figura 1.3** Cobertura mundial del abastecimiento de agua (WHO y UNICEF 2000).

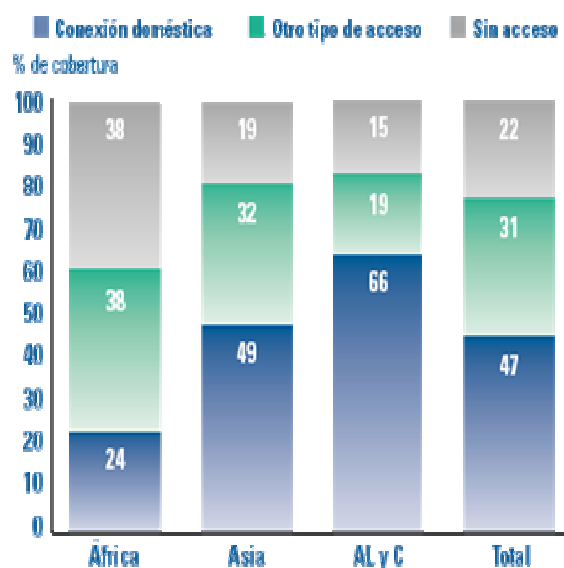


En los gráficos 1.6 y 1.7 (WHO y UNICEF 2000) presentamos la cobertura porcentual con abastecimiento de agua en los hogares, así como otros tipos de acceso, en tres regiones: África, Asia y América Latina y el Caribe. Sólo se han tenido en cuenta esas tres regiones, ya que Europa y América del Norte presentan cifras de cobertura cercanas al 100% y las cifras correspondientes al porcentaje de cobertura de la población de Oceanía están influidas por la cobertura casi total de Australia. Las cifras correspondientes a África, Asia y América Latina y el Caribe muestran la situación de cobertura propia de las regiones en desarrollo. Los datos utilizados para estimar el acceso a las conexiones domésticas proceden tanto de encuestas en los hogares como de información anterior facilitada a la OMS por los proveedores de servicios (por la general organismos públicos). Además podemos verificar los cambios en el acceso a servicios de abastecimiento de agua durante los últimos diez años. Una de las observaciones más sorprendentes es que el porcentaje de personas que tiene acceso al abastecimiento de agua mediante conexiones domésticas ha aumentado del 41% al 47%, mientras que el porcentaje de personas con otros tipos de acceso se ha mantenido prácticamente igual (en torno al 31%). Cerca de 82 millones de personas más en África, 418 millones en Asia y 79 millones en América Latina y el Caribe consiguieron acceso al abastecimiento de agua mediante una conexión doméstica durante los años 90. El aumento de la población a lo largo del mismo periodo fue de unos 69 millones en África, 502 millones en Asia y 79 millones en América Latina y el Caribe.

**Gráfico 1.6** Cobertura del abastecimiento de agua por categoría de servicio en África, Asia y América Latina, 1990



**Gráfico 1.7** Cobertura del abastecimiento de agua por categoría de servicio en África, Asia y América Latina y el Caribe, 2000



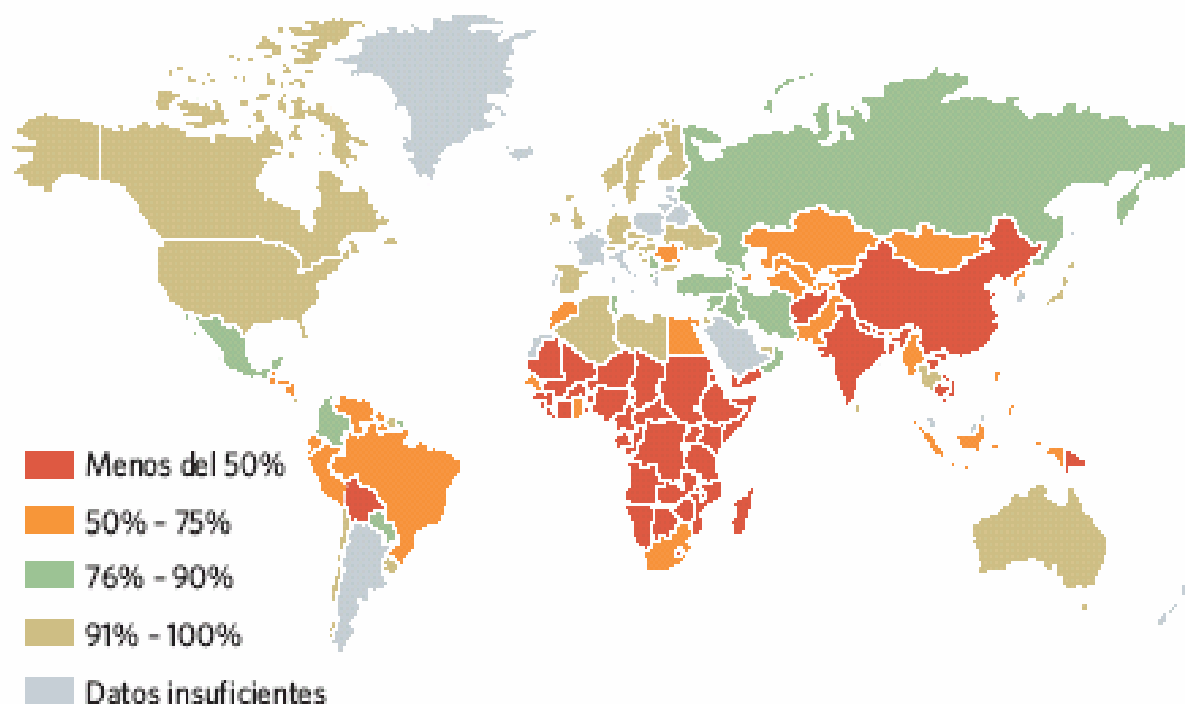
### 1.1.2.2 Otras necesidades de agua

Las estimaciones planteadas acerca del abastecimiento para el consumo de agua no reflejan con precisión la magnitud del problema de las necesidades de agua. La calidad del agua disponible está lejos de ser adecuada. La Organización Mundial de la Salud (OMS) informa de que hay entre 2.400 y 3.000 millones de personas carecen de acceso a servicios sanitarios. La mitad de la población mundial carece de sistemas de alcantarillado básico. Más de 90% de todas las aguas servidas en los países en desarrollo retornan sin tratamiento alguno a la tierra y a las corrientes de agua.

Esas limitaciones son más alarmantes en las zonas rurales, donde un 62% de los residentes carecen de acceso a sistemas de saneamiento (CSD 1997b). En todas las regiones, la cobertura del saneamiento es mucho peor que la del agua. Como se menciona en la introducción de este trabajo en los años 90, el número de niños muertos por diarrea —causada por la falta de agua y saneamiento seguros— superó a las víctimas de conflictos armados registradas desde la Segunda Guerra Mundial (Ahrtag 1995) y la mitad de las camas hospitalarias del mundo están ocupadas por pacientes con enfermedades transmitidas por el agua, utilizándose por tanto servicios sanitarios para tratar enfermedades que podrían prevenirse fácilmente. Como vemos en la figura 1.4 los problemas más importantes se presentan en África, Asia y en Suramérica, en el Asia meridional, sólo el 37% de la población tiene acceso a saneamiento adecuado: cerca de 1.400 millones de personas aún defecan en espacios abiertos o en antihigiénicas letrinas de cubo (Almedom 1997).

**Figura 1.4** Proporción de población que dispone de saneamiento mejorado. 2002

---



La calidad del agua está especialmente vinculada a su disponibilidad y a las decisiones acerca de uso del suelo, producción industrial y agrícola y eliminación de residuos. En los países en desarrollo, entre 90% y 95% de los desagües cloacales y un 70% de los residuos industriales se vierten sin depurar en las aguas superficiales, donde contaminan las existencias de agua utilizable (Meybeck, Chapman y Helmer 1990).

Los sistemas naturales purifican el agua circulante, cuando la cantidad disponible es suficiente. Cuando el agua se hace cada vez más escasa, en general también empeora su calidad. Otros factores que también afectan la calidad son el uso intensivo del suelo y el desarrollo industrial. En muchos países industrializados los fertilizantes, los plaguicidas, los residuos que se escurren de las tierras, y la lluvia ácida proveniente de la contaminación atmosférica requieren procedimientos de depuración y filtración muy costosos y con un alto consumo de energía para poder restaurar una calidad aceptable. Restaurar las pautas naturales de escurrimiento hacia los sistemas fluviales, ordenar el riego, el uso de productos químicos y los residuos animales, y limitar la contaminación industrial del aire son medidas de importancia vital para mejorar la sostenibilidad general y la calidad del abastecimiento de agua.

### 1.1.2.3 Sobreexplotación de los recursos. Riesgos

En los doscientos últimos años los desechos vertidos, relacionados con la actividad humana y su desarrollo agrícola, industrial, y urbano han contribuido a la alteración tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas. Unos 2 millones de toneladas de

desechos son vertidos diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales y químicos, desechos humanos y agrícolas (fertilizantes, pesticidas y residuos de pesticidas). En muchos lugares el agua subterránea ha resultado contaminada a consecuencia de fugas o vertidos accidentales desde tanques y depósitos. Esta contaminación aumenta continuamente ya que a causa de las características de las aguas subterráneas estos vertidos son imposibles de eliminar, persistiendo al menos en pequeñas concentraciones por largos periodos de tiempo. La presencia de altos porcentajes de arsénico o fluoruros, o el exceso de materia orgánica y patógenos en el agua de consumo doméstico contribuyen al incremento de enfermedades mortales en muchos ámbitos de la población.

Los arsénicos se acumulan a través de la disolución de minerales en el agua, la exposición continuada a sus efectos a través del consumo de agua favorece la aparición de procesos cancerígenos de piel y de pulmón, problemas en la vejiga o en los riñones o otros efectos perjudiciales en la piel relacionados con alteraciones en la pigmentación. Solo en Bangla Desh se estima que entre 35 y 77 millones de sus habitantes se ven afectados. Los fluoruros en concentraciones excesivas también a través del consumo doméstico del agua son el origen de afecciones relacionadas con la decoloración dental y pueden llegar a producir fluorosis crónica. La materia orgánica de las aguas residuales es también una importante fuente de contaminación. Debido a sus altas concentraciones de nutrientes, especialmente fósforos y nitrógenos, produce un crecimiento excesivo de las plantas. Los niveles de nitrógeno en el agua muchas veces son superiores a los 10 miligramos por litro recomendados por la OMS.

En el primer mundo la acidificación de la superficie fue un serio problema entre 1960 y 1970 especialmente en escandinavia y Europa central pero desde que se empezó a controlar la emisión de sulfuros la situación se ha aliviado considerablemente. Por el contrario en los países en vías de desarrollo, o que atraviesan fuertes procesos de industrialización como India o China la acidificación esta comenzando a ser una problemática de primer orden, especialmente para la vida acuática que difícilmente puede sobrevivir con un PH inferior a 5.

En los países desarrollados el incremento de la salinidad en las aguas es un claro exponente de la contaminación, un pobre drenaje junto al pequeño tamaño de los sedimentos y a la elevada tasa de evaporación ha contribuido a la concentración salina de las superficies irrigadas tanto en zonas áridas, como en las semi-áridas. Se estima que el 30% de las áreas irrigadas en el planeta están afectadas. Aunque los datos fiables sobre la amplitud y gravedad de la contaminación son incompletos, se calcula que la producción global de aguas residuales es de aproximadamente 1.500 km<sup>3</sup>. Considerando que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12.000 km<sup>3</sup>. Las poblaciones más pobres resultan las más afectadas, con un 50% de la población de los países en desarrollo expuesta a fuentes de agua contaminadas.

Para concluir este punto, y analizar el impacto en los recursos hídricos de las actividades del ser humano recogemos el estudio de la FAO (FAO 1993) del análisis de 52 informes que presenta las siguientes conclusiones:



- Las zonas de filtración y recarga de acuíferos se han visto reducidas, incrementándose el volumen de superficies impermeables y aumentando por consiguiente el riesgo de grandes inundaciones en las zonas bajas del cauce de los ríos.
- La disminución de los niveles de agua y el hundimiento de tierras se han producido al mismo tiempo que las aguas subterráneas se sobreexplotaban
- El incremento de vertidos de aguas residuales en las grandes ciudades, especialmente en tormentas importantes ha supuesto una importante carga contaminante al cauce de los ríos.
- El abandono y la falta de mantenimiento del alcantarillado ha supuesto otra fuente de contaminación de las aguas residuales
- Importantes cantidades de terreno y notables volúmenes de agua se han contaminado debido a los vertidos industriales y la ausencia de planes de tratamiento de residuos sólidos o de las aguas residuales.

### 1.1.3 Cambio climático

El efecto preciso que el cambio climático produce sobre los recursos hídricos es incierto. El aumento en los dos últimos siglos de la emisión de gases de efecto invernadero y su evolución actual hacen prever un aumento de entre 1.4 °C y 5.8 °C de la temperatura media anual, similar al que se ha producido en los últimos 10000 años. Esto provocará un aumento de entre 0.09 a 0.88 metros en el nivel medio del mar y la consiguiente intensificación en el ciclo hidrológico que estará asociada con un incremento de la variabilidad en las pautas de las precipitaciones que aumentarán probablemente desde las latitudes 30°N y 30°S, mientras que en muchas regiones tropicales y subtropicales se recibirá posiblemente una cantidad de lluvia inferior y más irregular (Mungall 1990). Con una tendencia perceptible hacia condiciones meteorológicas extremas más frecuentes, es probable que las inundaciones, sequías, avalanchas de lodo, tifones y ciclones aumenten. Es posible que disminuyan los caudales de los ríos en períodos de flujo escaso y la calidad del agua empeorará, sin duda, debido al aumento de las cargas contaminantes y de la temperatura del agua.

El calentamiento global además plantea una amenaza considerable a la salud pública. La redistribución de las precipitaciones pluviales que apunta, aumentaría de manera notable el número de personas que habitan en zonas sometidas a estrés hídrico, problema agravado por el aumento de la población. También se ampliaría el alcance geográfico de enfermedades tropicales sensibles a las temperaturas, como el paludismo y el dengue. El aumento de las temperaturas medias repercute en olas de calor más prolongadas e intensas, con el aumento correlativo de los problemas de salud causados por el calor. Los efectos combinados del crecimiento demográfico y el cambio climático podrían causar escasez de recursos regionales, lo cual a su vez podría redundar en la explotación de zonas medioambientalmente delicadas como las laderas empinadas, las llanuras inundables, las zonas costeras y los pantanos. También es posible que esas condiciones causen un aumento de los refugiados del medio ambiente, de la migración económica internacional y de los problemas sociopolíticos relacionados. Las políticas relativas al clima y al medio ambiente deberían abordar la distribución geográfica y el desplazamiento de las personas en el siglo XXI.

## **1.2 Tecnologías para el abastecimiento de agua**

En esta segunda parte del primer capítulo vamos a revisar las distintas tecnologías que actualmente están siendo empleadas en el abastecimiento de agua, tanto en el plano de la captación como en el del transporte y distribución. Estudiaremos especialmente los sistemas característicos en el ámbito rural, de manera que nos sirva de introducción para marcar el papel que desempeña el bombeo manual en estas circunstancias.

### **1.2.1 Breve revisión de las técnicas y tecnologías existentes**

Las distintas tecnologías existentes para el abastecimiento de agua están condicionadas por el nivel de servicio que se prestará, por cómo y dónde se abastecerá de agua a los usuarios y en qué cantidades (Roark et al 1993). Existen tres categorías fundamentales respecto al diseño básico de los sistemas:

#### **1.2.1.1 Sistemas de punto único**

Consisten por lo general en pozos excavados o pozos de sondeo de diámetro pequeño de los que se extrae agua mediante bombas manuales.

#### **1.2.1.2 Fuente pública de agua**

Sistema de agua corriente que alimenta a un número limitado de grifos públicos que abastecen de agua a todos los hogares y otros usuarios del vecindario.

#### **1.2.1.3 Conexiones domiciliarias**

Sistemas de aguas corrientes que transportan el agua hasta grifos en edificios de viviendas u hogares individuales.

A partir de esta clasificación comprobamos que existen diferentes situaciones. En los sistemas de agua corriente en poblaciones grandes, habitualmente habrá alimentación por gravedad directamente desde la fuente o desde un tanque elevado al que se bombea el agua, mientras que para sistemas de punto único característicos en el ámbito rural se emplearán otras técnicas de abastecimiento como la captación de agua de lluvia, pozos para el bombeo, embalses superficiales o subsuperficiales, acuíferos, corrientes subterráneas etc...

### 1.2.2 Tecnologías de implantación en zonas rurales

El abastecimiento de agua descansa sobre el funcionamiento correcto de todos los elementos del sistema: captación, transporte, tratamiento, regulación y distribución. Como acabamos de introducir dentro del marco de estudio correspondiente al ámbito rural existen diferentes tecnologías de abastecimiento de agua tanto en la fase de captación, como en la posterior de transporte y distribución. La captación se puede realizar desde aguas superficiales o desde aguas subterráneas.

#### 1.2.2.1 Captaciones superficiales

Las captaciones superficiales incluyen agua de ríos, de manantiales, de agua de lluvia, de lagos y embalses, etc. Todos ellos comparten que una ejecución inadecuada puede influir en la calidad del agua servida y en problemas aguas abajo (Wegelin 1996).

Exceptuando el agua de lluvia, el resto presenta un serio inconveniente respecto a las subterráneas ya que la existencia de zonas habitadas o de pastoreo animal aguas arriba del punto de toma puede conllevar problemas sanitarios.

**Ríos:** Para poder decidir si los arroyos o ríos (sobre todo los primeros) nos pueden servir de fuente de abastecimiento hace falta conocer la magnitud de las precipitaciones en la cuenca, la superficie de la misma y el coeficiente de escurrimiento.

Es necesario conocer la distribución a lo largo del año de la cantidad de agua que circula por el río para determinar el caudal mínimo anual y, por tanto, qué cantidad de agua podemos asegurar durante todo el periodo del año completo.

En función de si el caudal circulante es o no elevado, las soluciones técnicas más adecuadas son distintas. Si el nivel de la corriente es apreciable, basta con una toma lateral a través de un pozo en la margen, dándole entrada por encima del nivel de máximas avenidas, bien por una simple tapa, bien por una caseta. Si la corriente del río es lenta, puede colocarse la toma con su tubo directamente en el lecho, protegiéndola con defensas de empalizadas metálicas o de hormigón. Si la altura de agua en el arroyo es pequeña, y sobre todo si la variación de dicha altura es importante, es conveniente recurrir a pequeños azudes. El funcionamiento de un azud o represa se basa en obstaculizar la corriente normal de agua del río para conseguir un aumento de calado aguas arriba de la obra, y así poder realizar una toma por derivación sin demasiadas complicaciones.

**Manantiales:** las obras de captación de manantiales deben evitar la penetración de las aguas exteriores en el manantial, así como de cualquier organismo extraño. Tratando de no alterar la cantidad y calidad del agua ni por disposiciones constructivas, ni por los materiales empleados y conservando las condiciones físicas del agua captada: temperatura, etc.

**Captación de agua de lluvia:** el agua de lluvia puede ser recogida desde el techo de una casa o desde otras superficies con cunetas y bajantes (de madera, bambú, hierro galvanizado o PVC) que conducen a uno o más depósitos siguiendo varios métodos (Okun 1991):

- Captación de techo: Tras atravesar un filtro, el agua transita por canalones hasta unas cisternas. Estas cisternas pueden tener capacidad suficiente para satisfacer las necesidades de una comunidad o institución o los requerimientos más limitados de una familia. Mediante el empleo de diseños novedosos y el uso de hormigón armado en la construcción de cisternas, en algunos países como Indonesia, Tailandia y la India se han reducido los costos, y este método de obtención de agua goza de gran popularidad, especialmente para uso familiar.

- Captación de superficie: El agua que se escurre de los suelos menos permeables durante las precipitaciones intensas puede ser captada en pozos revestidos de material aislante, o desviada a pozos de sondeo diseñados especialmente para recargar artificialmente acuíferos de aguas subterráneas (Gould 1991). Además de ello, se pueden construir embalses para contener el agua que fluya de hondonadas y valles. Es necesario que en la etapa de diseño se estudien cuidadosamente las consecuencias ecológicas de los embalses de grandes dimensiones y otros sistemas artificiales de recarga.

**Embalses superficiales:** cuando no se dispone inmediatamente de otras fuentes, es posible contener y captar las aguas de superficie para usarlas después de someterlas a un proceso de filtración. El tratamiento del agua en mayor escala sólo es posible por lo general en ámbitos urbanos grandes, ya que las instalaciones son costosas y requieren una celosa y constante supervisión técnica que garantice el funcionamiento correcto y fiable del sistema.

### 1.2.2.2 Captaciones subterráneas

**Embalses subsuperficiales:** los embalses subsuperficiales capturan las aguas subterráneas donde fluyen más cerca de la superficie en los valles y los lechos de los ríos secos. El agua se almacena en un acuífero a poca profundidad bajo la superficie, de manera que la pérdida de agua debida a la evaporación es mínima, y el agua se purifica naturalmente al ser filtrada por el suelo. Para que el embalse cumpla su cometido debe ser construido a lo ancho del valle o inmediatamente encima de un manto de tierra impermeable. El agua almacenada se obtiene por medio de pozos —dentro de lo posible combinados con galerías de infiltración— aguas arriba del embalse.

**Pozos superficiales o cavados a mano:** son de uso frecuente en los países en desarrollo, y en muchas regiones lo han sido durante muchos siglos. Esta tecnología ofrece una amplia serie de ventajas (Watt 1981):

- no requiere mano de obra altamente cualificada;
- mediante la apropiada participación de los beneficiarios en la construcción del punto de agua es posible incrementar el nivel de participación y de sentimiento de propiedad de la comunidad;
- un programa de construcción de pozos cavados a mano debidamente ejecutado puede resultar la opción más económica de abastecimiento de agua;
- la mejora de un pozo cavado a mano ya existente constituye a menudo el primer paso hacia una fuente de agua potable para la comunidad;
- a diferencia de la mayoría de los pozos de sondeo, es posible seguir extrayendo agua de un pozo cavado a mano aunque se haya dañado la bomba o no haya ninguna instalada;

- la mayor parte de la construcción del pozo puede realizarse con materiales de los que se dispone localmente;
- debido a que los pozos cavados a mano son de diámetro mayor que los de sondeo, ofrecen una cierta cantidad de espacio para almacenar suficiente agua como para abastecer a los usuarios durante los horarios de máximo uso.

Sin embargo, también se deben tener en cuenta las desventajas de los pozos cavados a mano:

- en ausencia de medidas y equipos de seguridad adecuados, la construcción de los pozos puede resultar peligrosa;
- aunque hay muchas instancias de pozos cavados a mano muy profundos, generalmente son relativamente poco profundos (menos de 20 m) y tienden a extraer el agua del acuífero más cercano a la superficie (no confinado), de manera que son más susceptibles a la contaminación bacteriológica y a los efectos del descenso de las capas freáticas;
- los pozos cavados a mano que no están recubiertos de material aislante son particularmente susceptibles a la contaminación de origen humano o animal;
- el hecho de que esta tecnología sólo resulte eficaz en formaciones geológicas blandas con niveles relativamente elevados de aguas subterráneas restringe su aplicación a zonas y regiones específicas.

A veces resulta conveniente, y económico, concentrarse en la mejora o rehabilitación de pozos ya existentes en lugar de construir pozos nuevos. Esto requiere generalmente la profundización y desinfección de esos pozos, la reparación o reposición del revestimiento de los mismos, y la instalación de una losa hermética, una guarnición y una bomba manual. Los pozos perforados a mano y los cavados a mano comparten en gran medida la ventaja de permitir un alto grado de participación comunitaria, ya que los pobladores pueden colaborar en la construcción de los mismos.

**Pozos perforados a máquina:** si se dispone de esta maquinaria se perforarán pozos mucho más velozmente y se alcanzarán profundidades mucho mayores. En muchas regiones los equipos mecánicos de perforación representan la única opción de la que disponen los programas de abastecimiento de agua que dependen de las fuentes de aguas subterráneas (Gordan 1958). La desventaja principal del empleo de equipos mecánicos de perforación es que los gastos de inversión, operación y mantenimiento son mucho más elevados que los del cavado o la perforación manuales. Pero un programa de perforación eficiente puede compensar esos gastos debido a la velocidad de la perforación y a que en algunos casos se pueden establecer puntos de agua por menos de 1.000 dólares cada uno (Okun 1991). Por otro lado, la velocidad del equipo de perforación siempre está limitada por el grado de eficiencia de la infraestructura logística. Hay casos en los que equipos de perforación que en teoría podría perforar 150 pozos de sondeo por año sólo producen 10 como máximo debido a la falta de combustible, repuestos y operarios capacitados, o a deficiencias de planificación o gestión (Clark 1988). Tanto el manejo de los equipos de perforación, como la gestión de los programas de perforación mecánica son actividades complejas que requieren personal capacitado y experimentado.

## Capítulo 1. El agua dulce en el planeta

En la tabla 1.4 que vemos a continuación comprobamos las notables diferencias existentes entre los pozos cavados a mano y el resto. Además queda clara la relación directa entre el coste del equipo de perforación y sus capacidades tanto operativas como en aptitudes frente a reparaciones o en la velocidad de penetración en distintas circunstancias del terreno o de profundidad.

**Tabla 1.4** Tecnologías de construcción de pozos (Arlosoroff 1987).

	Cavado manual	Perforación manual	Equipo de perforación con cable	Perforadora rotativa pequeña	Perforadora rotativa de usos múltiples
Gastos de inversión aproximados en dólares estadounidenses	\$1.000	\$1.000-5.000	\$20.000-100.000	\$100.000-250.000	\$200.000-500.000
Costo de operación	muy bajo	bajo	bajo	mediano	muy elevado
Capacitación operativa	muy bajo	bajo	bajo-mediano	mediano	muy elevado
Aptitudes para las reparaciones	muy bajo	bajo	bajo-mediano	mediano	muy elevado
Respaldo complementario	muy bajo	bajo	bajo-mediano	mediano	muy elevado
Tasas aproximadas de penetración en metros por cada día de 8 horas de trabajo	0,1-2,0m	1-15m	1-15m	20-100m	20-100m
Pozos de 200 mm* de diámetro a 15m de profundidades en formaciones no consolidadas	-	veloz	veloz	imposible	muy veloz**
Pozos de 200 mm* de diámetro a 50m de profundidades en formaciones no consolidadas	-	lento y difícil	bastante veloz	imposible	muy veloz**
Pozos de 200 mm* de diámetro entre 15 y 50m de profundidades en formaciones semi consolidadas	-	imposible	bastante veloz	imposible	muy veloz**
Pozos de 100 mm* de diámetro entre 15 y 50m de profundidades en formaciones consolidadas (duras, no las de grava apisonada)	-	imposible	muy lento	muy veloz**	muy veloz**
* pozos de 200 mm para construir un pozo de 100 mm de diámetro tras la instalación de filtros el apisonamiento de la grava. ** supeditado al apoyo logístico					
De: Arlosoroff, S., et al, Community Water Supply, The Handbomba Option, PNUD/Banco Mundial					

### 1.2.2.3 Transporte y distribución

No todas las poblaciones disponen de manantiales o pozos cercanos en condiciones sanitarias adecuadas para el consumo humano. Por ello se hace necesario transportar y distribuir el agua.

El transporte desde el punto de captación hasta el punto de consumo se puede realizar o a presión, mediante tuberías y bombeo o en lámina libre, superficialmente, mediante un canal. La decisión entre las dos opciones de transporte viene absolutamente condicionada por la topografía de la zona. De todos modos, por motivos sanitarios evidentes, es mucho más frecuente el sistema de impelencia con tubería que el transporte mediante un canal, siendo estos últimos más utilizados en las obras de regadío.

La distribución se puede realizar a través de una red de tuberías a baja presión que conecta habitualmente el depósito de la comunidad y los puntos de consumo.

Los sistemas por gravedad se basan en la utilización de la energía potencial gravitatoria para el transporte del agua entre el punto de captación y el punto de consumo. La situación óptima de estos sistemas es aquella en la que la captación se encuentra a una cota superior a la de la comunidad.

Otro sistema de distribución y transporte aún más habitual que el anterior en el ámbito rural es el bombeo, especialmente el realizado a través de las bombas manuales. Según la SKAT organismo responsable del monitoreo de los programas en este ámbito del Banco Mundial, actualmente más de 1000 millones de personas basan su abastecimiento en el empleo de bombas manuales.

## ***1.3 Revisión del marco político e institucional internacional existente relacionado con el abastecimiento de agua potable***

### **1.3.1 Análisis de la evolución de las políticas internacionales**

El interés porque las necesidades humanas básicas en el abastecimiento de agua a escala internacional estén o no cubiertas no siempre ha ocupado el mismo lugar dentro de las prioridades de la política mundial. Como ha ocurrido dentro de otras problemáticas globales como el respeto al ecosistema, o la situación de la mujer dentro de la sociedad, por poner dos ejemplos, solo a través del trabajo de grupos habitualmente no gubernamentales se impulsó el conocimiento de la situación real en muchas zonas del planeta en relación a la problemática relacionada con el abastecimiento de agua. A partir de ese trabajo se fue desarrollando una conciencia de la trascendencia del tema para una parte muy notable de la población mundial, y se comenzó a incluir dentro de las prioridades de organismos de mayor envergadura.

Una de las primeras conferencias integrales sobre el agua se celebró en 1977 en Mar del Plata, Argentina. Se aprobó una declaración que pretendía comenzar una nueva época en la cooperación internacional para el mejoramiento del abastecimiento de agua y el saneamiento en los países en desarrollo. Según la Declaración, el decenio de 1980 sería el “Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental” (Anil et al 1981). El lema de lo que pasó a conocerse como el “Decenio del Agua” era: “Agua y saneamiento para todos”. A finales de los años setenta, algunas organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) del Canadá, comenzaron a participar en planes para el suministro de agua potable a las comunidades rurales. Aunque se designó al PNUD (organismo de naciones unidas para el desarrollo) como organismo director del Decenio dentro del sistema de las Naciones Unidas, el objetivo del Decenio era el mejoramiento de la salud que ésta supuestamente produciría (el ámbito de competencia de la OMS). La falta de agua apta para el consumo y de sistemas de eliminación de excrementos provocaba un altísimo número de enfermedades y de muertes, especialmente entre los niños; según cálculos de la OMS, era la causa de entre 10 y 25 millones de muertes por año, y del 80% de las enfermedades en todo el mundo (Anil et al 1981). Las principales responsables eran las enfermedades diarreicas, pero muchas otras enfermedades vinculadas con la falta de higiene o con el agua también eran parte del problema, como la esquistosomiasis (bilharziasis), la dracunculosis, el tracoma, la sarna, la oncocercosis (ceguera de los ríos) y el paludismo.

Los primeros proyectos mundiales fueron financiados principalmente por el PNUD, pero un número creciente de donantes bilaterales les prestaron apoyo. Éstos eran la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI), el Organismo Danés para el Desarrollo Internacional (DANIDA), el Organismo Finlandés de Desarrollo Internacional (FINNIDA), el Ministerio Federal de Alemania para la Cooperación Económica y el Desarrollo (BMZ) y la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), la Administración de Ultramar del Reino Unido para el Desarrollo (ODA), el Departamento Suizo de Desarrollo y de Ayuda Humanitaria, el Organismo Noruego de Cooperación para el Desarrollo (NORAD) y el Organismo Sueco de Desarrollo Internacional (OSDI). Muchos de esos organismos han aportado posteriormente una contribución importante a la teoría y la práctica internacionales en relación con los servicios básicos de abastecimiento de agua y saneamiento. Algunos proporcionaron al Programa sus primeros funcionarios, especialmente sobre el terreno. Al mismo tiempo, el Programa reforzó su asociación con otros colaboradores, en el sistema de las Naciones Unidas, en los países receptores y con instituciones profesionales y no gubernamentales como la Asociación de Consumidores del Reino Unido y el Instituto Suizo de Tecnología Apropiada (SKAT). Estableció también equipos sobre el terreno encargados del agua y el saneamiento en África y Asia, cuya función adquiriría gradualmente más importancia. El Decenio generó nuevos fondos dentro del objetivo de aumentar el acceso a los servicios. Los modos de enfocar el problema experimentaron un cambio radical y se consideró el Decenio como un éxito, pues el alcance de los servicios de abastecimiento de agua en las zonas rurales aumentó, según los estudios del propio PNUD del 30% al 50%. Sin embargo, el crecimiento de la población sobrepasó a muchos de los logros.



En los años noventa, el ámbito del debate internacional respecto del agua potable se amplió. De las actuaciones en el Decenio Internacional del Agua Potable y del Saneamiento Ambiental en la salud pública, el centro de atención se amplió a un interés mayor en la gestión y el uso de los recursos hídricos como parte de la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible. El consenso en torno a las enseñanzas aprendidas durante el Decenio comenzó a fundirse con un consenso más amplio que abarcaba la gestión de los recursos hídricos en general. Crecía la preocupación mundial por la escasez de agua y la contaminación de este recurso, y comenzaron a cobrar más importancia las cuestiones económicas y ambientales, junto con el buen gobierno, la participación del sector privado y otros factores del desarrollo que siguió al fin de la guerra fría. Los principios básicos del nuevo consenso se formularon sucintamente en la Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente, celebrada en Dublín en enero de 1992, con miras a la Cumbre sobre la Tierra. Se expresaron de la siguiente manera (Bakalian et al 1994):

***El agua potable es un recurso finito y vulnerable, esencial para la sostenibilidad de la vida, el desarrollo y el medio ambiente.***

***El aprovechamiento y la gestión de los recursos hídricos debe basarse en un enfoque participativo, que abarca a usuarios, responsables de la planificación y las políticas a todos los niveles.***

***Las mujeres desempeñan una función crucial en el suministro, la gestión y el resguardo del agua potable.***

***El agua, en sus diversos usos, tiene un valor económico y debe reconocerse su calidad de bien económico.***

Los Principios de Dublín, como se los conoce desde entonces, sirvieron de base para todas las discusiones de política y todas las actividades de cooperación para el desarrollo relacionadas con el agua en el decenio de 1990. Ese mismo año en la Cumbre para la Tierra, conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992, se reafirmó la noción de satisfacer las necesidades básicas relativas al agua y se la amplió para incluir requisitos ecológicos también relativos al agua. Se reconoce que la protección y la ordenación de los recursos hídricos son parte esencial del debate sobre el medio ambiente y el desarrollo sostenible y su documento principal, el Programa 21, en su capítulo 18 pone de relieve la importancia del agua como recurso ambiental y como bien económico, reconociendo la necesidad de facilitar el acceso a los servicios básicos dentro de un marco global de gestión de los recursos hídricos. El nuevo enfoque consideraba que el agua es un recurso escaso, cuya ordenación debe tener como base la equidad y la demanda y la participación de los usuarios, incluidas las mujeres, en la elección y el suministro de los servicios. Ese enfoque no contó con la aprobación unánime de los países en desarrollo.

Estaba surgiendo un enfoque integral que abarcaba a todos los siguientes factores: la seguridad alimenticia, la tecnología adecuada, la reducción de las subvenciones, la descentralización de la toma de decisiones, la participación de los consumidores en los servicios, la reforma de las instituciones y los marcos reglamentarios. Por lo tanto, los conceptos que se formularon primero para la salud pública ahora se estaban adoptando para toda la gama de programas relacionados con el agua potable. No todos estos principios fueron del agrado de todo el mundo: hubo una fuerte resistencia por parte de países en desarrollo a la idea de que el agua debía considerarse un “bien económico” y al impulso

por parte los países ricos de medidas de liberalización económica de estos servicios básicos, como comentaremos en el punto siguiente.

A mediados de los años noventa, los interesados en las cuestiones de abastecimiento de agua y saneamiento se encontraban ante una contradicción. Por un lado, se había logrado una considerable unanimidad en torno al programa que debería adoptarse en el sector: cuáles eran las cuestiones que se debían abordar y cuáles las respuestas normativas más indicadas. Por el otro, los resultados conseguidos por este sector en los países en desarrollo eran muy escasos. El problema central en relación con el abastecimiento de agua y saneamiento fue, precisamente, pasar de la teoría a la práctica. Un inmenso número de personas del mundo en desarrollo carecía todavía de servicios. Según el Programa Mixto OMS/UNICEF de Vigilancia del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento, la cobertura del abastecimiento de agua en las zonas rurales había subido del 50% al 70% entre 1990 y 1994, mientras que en las ciudades se había mantenido invariable en el 82%. De hecho, la cobertura del saneamiento había descendido, pasando del 67% al 63% en las zonas urbanas y del 20% al 18% en las rurales. Más de 1.000 millones de personas carecían todavía de un sistema adecuado de abastecimiento de agua, y casi 3.000 millones defecaban al aire libre o en condiciones antihigiénicas.

En el período extraordinario de sesiones de la Asamblea General de las Naciones Unidas de 1997, convocado para examinar los progresos conseguidos en relación con el medio ambiente y el desarrollo sostenible desde la Cumbre para la Tierra de 1992, se aprobó una resolución en que se pedía una intervención más decidida en las actividades relacionadas con el abastecimiento de agua, teniendo en cuenta el nuevo programa. En 1998, se celebró en París la Conferencia Internacional “Agua y Desarrollo Sostenible”. Una reunión preparatoria, celebrada en Harare (Zimbabwe), dio lugar a la celebración, en Nueva York, de un período extraordinario de sesiones del Comité de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, cuyo tema fue la gestión de los recursos hídricos y el medio ambiente.

La evaluación mundial del abastecimiento de agua y saneamiento efectuada en 2000 por la OMS y UNICEF planteó que se han producido avances desde 1990 en el acceso al abastecimiento de agua y el saneamiento, pero que quedaba mucho por hacer. La población atendida había aumentado, pero 1.100 millones de personas aún no disponían de abastecimiento de agua, y más del doble de esa cifra no tenían acceso a servicios de saneamiento adecuados. Muchos países tropezaban con serios problemas vinculados al mantenimiento de las instalaciones existentes, y el azote de las enfermedades causadas por agua inadecuada seguía afectando a muchos centenares de millones de personas. Más recientemente la OMS ha reestructurado sus actividades relativas al agua, el saneamiento y la salud a fin de integrar los vínculos más amplios entre agua y salud. En el contexto del aprovechamiento y la ordenación de los recursos hídricos, se toman así en cuenta las enfermedades tradicionales transmitidas por el agua en relación con la falta de abastecimiento de agua potable y de un saneamiento adecuado, así como las enfermedades transmitidas por factores que se encuentran en el agua o están vinculados a ella y pueden deberse a cambios hidrológicos inducidos por proyectos de aprovechamiento de recursos hídricos, como planes de riego y embalses.

En la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas de 2000, aprobada por los dirigentes de los 189 Estados miembros de la ONU, se establecieron metas y plazos que pretendían de nuevo garantizar un avance real en aquellos asuntos más apremiantes relacionados con el desarrollo. La meta 10, relativa al agua, se vio reafirmada en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en 2002 en Johannesburgo, donde se incluyó, además, otra meta en materia de saneamiento. Se propuso concretamente reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas que carecen de acceso a agua potable y a servicios de saneamiento, además de poner fin a la explotación no sostenible de los recursos hídricos.

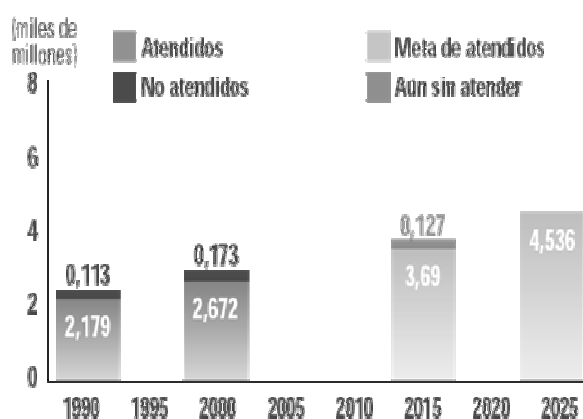
El Año Internacional del Agua Dulce, 2003, dio la oportunidad de realizar el seguimiento de los resultados de la Cumbre y los objetivos de desarrollo del Milenio. La creación de conciencia se basó casi exclusivamente en proclamar otro Decenio Internacional para la Acción, “El Agua, Fuente de Vida”, 2005-2015, que dio comienzo el 22 de marzo de 2005, Día Mundial del Agua. Este Decenio pretende centrarse en los asuntos relacionados con el agua, al tiempo que se trata de asegurar la participación de la mujer en los programas de desarrollo relativos al agua y se promueve la cooperación en todos los ámbitos.

Desde una perspectiva más amplia, a lo largo de todo este recorrido que hemos descrito desde finales de los setenta en el ámbito de actuación de los grandes organismos internacionales, comprobamos que aún habiendo existido avances en el proceso de concienciación en la trascendencia de la problemática relacionada con el abastecimiento de agua y los problemas que acarrea en la salud de millones de personas, el desarrollo real de los proyectos de cooperación ha sido muy escaso para la capacidad de estas organizaciones, que se han limitado en muchas ocasiones a rellenar informes que se repiten decenio tras decenio y que solo plantean soluciones puntuales para zonas específicas. Queda claro después de todos estos años que la solución real pasa por enmarcar el problema del agua dentro del marco global. Sólo a través de políticas que permitan realmente a los gobiernos de los países más afectados tener una economía más desahogada para poder invertir en infraestructuras y servicios públicos, mejorando el nivel de vida en esas sociedades se podrá encauzar una solución a la larga en el problema del abastecimiento. Esto sólo se alcanzará a través de un cambio en las actuaciones de las estructuras de poder del primer mundo respecto al resto intentando plantear un giro a la opción del neoliberalismo como único camino y estableciendo un sistema en el que esos organismos internacionales pretendan realmente redistribuir las desigualdades permitiendo unas instituciones internacionales, ya sea naciones unidas, el banco mundial, el fondo monetario internacional o la propia organización mundial del comercio al menos algo democráticas. No es el objeto de este estudio pero es evidente que muchas de las responsabilidades del estancamiento de las sociedades tanto rurales como urbanas en los países subdesarrollados son consecuencia de políticas basadas en la continua explotación tanto de los recursos naturales como humanos por parte de un sistema mundial construido para priorizar los intereses de las grandes multinacionales y de los estados poderosos frente a la posibilidad de un desarrollo global conjunto que no puede estar fundamentado en la iniciativa y capacidad de las organizaciones no gubernamentales.

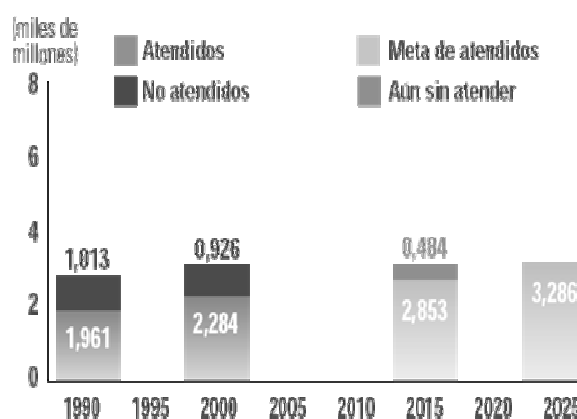
### 1.3.2 Exposición de metas y objetivos

Las previsiones demográficas a nivel global sugieren que la población de 6055 millones en 2000 en el mundo, se incrementará en un 20% hasta 7105 millones en 2015, y hasta 7825 millones en 2025, un aumento del 30%. Por lo que los servicios existentes deberán aumentar notablemente y será necesario aumentar considerablemente los servicios para satisfacer el aumento demográfico. Para alcanzar la meta de los organismos internacionales de desarrollo de reducir a la mitad el porcentaje de personas sin acceso a saneamiento o abastecimiento de agua mejorados antes de 2015, habrá que abastecer de agua a 1600 millones de personas más y facilitar servicios de saneamiento a unos 2200 millones de personas más. Como se expone en las dos figuras siguientes, figura 1.8 y 1.9, en lo relativo al abastecimiento, vemos que esa cifra incluye a unos 1018 millones de personas más que hay que atender en las zonas urbanas pasando de 2672 a 3690 millones de personas y unos 581 millones en las zonas rurales donde el incremento sería de 2284 a 2853 millones. Simplemente para mantener la actual cobertura porcentual en zonas urbanas hasta el año 2015 habrá que dar acceso a un número aproximado de 913 millones de personas más a abastecimiento de agua y a 834 millones de personas más a saneamiento. Ese esfuerzo equivaldría a construir la infraestructura de abastecimiento de agua y saneamiento para atender a aproximadamente tres veces la población de América del norte. Además a través de estas figuras se puede calcular el número total de población que tendría que acceder al abastecimiento para que en el año 2025 la cobertura fuera absoluta, esto implicaría un incremento de 1864 millones de personas, cerca de un 70% en el abastecimiento urbano y de 1998 millones en el ámbito rural.

**Figura 1.8** Abastecimiento urbano.



**Figura 1.9** Abastecimiento rural



Para alcanzar estos objetivos sería necesario prestar servicios a 107 millones de personas más cada año, o 292 000 personas más al día, hasta 2015. Valorando que sólo 816 millones de personas lograron acceso a abastecimiento de agua mejorado durante los años noventa, sería imprescindible acelerar el ritmo durante los años restantes hasta el 2015. En cuanto al saneamiento, el objetivo es aún más inalcanzable: hay que prestar servicios a 145 millones de personas más al año, o 397 000 cada día, hasta 2015 cuando a lo largo de los años noventa, sólo 75 millones de personas al año consiguieron acceso a servicios de saneamiento mejorados. Es evidente que al ritmo actual de avance estos objetivos no pasan de ser simbólicos. Algo habrá de cambiar radicalmente si se desea alcanzarlos.

### 1.3.3 Evaluación de métodos financieros

En general, dentro de cada país, el gobierno suele ser el agente responsable de la prestación y el financiamiento del servicio de abastecimiento y saneamiento de agua ya que al ser un bien público, las tarifas no reflejan por sí mismas los beneficios sociales que proporcionan. Además a través de esta financiación pública se asegura un acceso igualitario a ese servicio básico impidiendo que la población que no disfruta por ejemplo del saneamiento, prescinda del mismo si ha de pagar por él, limitando su desarrollo. Por último al tratarse el abastecimiento de un derecho fundamental incluido en el compromiso adquirido por los Estados con la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas y los Objetivos de Desarrollo del Milenio y formar parte del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas los gobiernos tienen la obligación de garantizar la prestación de este servicio a sus habitantes.

Esta dinámica en la cuál el estado se encargaba de asegurar los servicios sociales básicos se ha visto paulatinamente alterada por las exigencias del primer mundo que a través de su posición de poder en lo económico ha condicionado sus políticas de ayuda financiera al resto de países a que los gobiernos impulsaran medidas liberalizadoras en estos servicios. Este impulso a favor del suministro privado se vio ratificado en 1995 en el Acuerdo General sobre el Comercio de Servicios de la OMC (organización mundial del comercio) donde se considera que las subvenciones pueden tener efectos distorsionadores en el mercado. De hecho, el sector público no podría situarse en competencia con un servicio ofrecido por una empresa y estaría obligado a multiplicar el presupuesto destinado a un servicio público para ofrecer a la competencia la misma subvención; o a dividirlo y destinar una parte proporcional a competidoras privadas; o privatizar los servicios públicos. Cualquiera de los tres casos supondría la desaparición de los servicios públicos. El acuerdo establece de forma específica la exclusión de una “autoridad gubernamental”, definiendo los servicios cubiertos por el AGCS como “cualquier servicio en cualquier sector, excepto los servicios prestados en el ejercicio de la autoridad gubernamental”.

El ámbito del suministro de agua y saneamiento ofrece abundantes ejemplos de empresas estatales ineficientes, excesivamente grandes y corruptas. Pero también existen sistemas públicos que funcionan satisfactoriamente y que los partidarios de la privatización no mencionan. Así, en 1990, Chile proporcionaba agua potable al 97% de su población urbana y saneamiento al 80%. En Bogotá, Colombia, los servicios municipales de suministro de agua se vieron amenazados por la privatización, pero, tras una reforma exhaustiva, han ampliado su cobertura. La ciudad rechazó los fondos del Banco Mundial y transformó su servicio público en el mejor de Colombia. Es cierto que en algunos casos, en el suministro de agua y saneamiento, la falta de fondos gubernamentales se ve agravada por la existencia de tarifas insuficientes para recuperar los costos y con frecuencia se tolera la falta de pago de los usuarios. Esta situación fiscal impide a las autoridades locales ampliar sus servicios para responder a las necesidades de una población urbana en constante crecimiento. Como resultado, los servicios de suministro de agua disminuyen en cantidad y calidad en los barrios de clase media y no llegan a los nuevos barrios pobres. Además el bajo nivel del suministro público en muchos países también está estrechamente relacionado con la escasez de recursos.

Aún todo es evidente que la apuesta por la liberalización de este servicio no busca la ampliación de su acceso. Es poco probable que las compañías privadas se interesen en abastecer de servicios de agua a las zonas rurales de los países de bajos ingresos, porque se considera que las zonas rurales no generan beneficios. En cuanto al saneamiento, las sociedades privadas también consideran que las personas de pocos recursos económicos no producen beneficios. Como reflejo de esta filosofía, algunas empresas privadas de suministro de agua han encontrado la manera de excluir a estas poblaciones de los servicios, incluso en las áreas urbanas. En Cartagena, Colombia, un gran asentamiento precario no recibió servicios de suministro de agua porque la empresa proveedora consideró que estaba fuera del área urbana. Además, en algunos países la ampliación de las conexiones ha sido limitada. En Dakar, Senegal, aproximadamente el 80% de la población tenía acceso a agua potable en 1994. Cuatro años después de privatizarse el servicio, sólo el 82% disponía de acceso (Morales 1993). La privatización del suministro de agua y saneamiento se ha traducido por la implementación de tasas mucho más elevadas, en ocasiones de manera súbita y algunas veces con consecuencias desastrosas.

Las tarifas pagadas por los usuarios tienen un gran potencial para empobrecer a los usuarios o excluir a personas del uso de un servicio muy necesario. Cuando es preciso elevar las tarifas de los usuarios de servicios sociales básicos, los gobiernos deben asegurarse de que se adaptan a las necesidades de los usuarios. En primer lugar, los gobiernos deberían de informar abiertamente a los ciudadanos sobre la razón por la que las subidas son necesarias. En este sentido, deberían existir vías de comunicación transparentes entre los proveedores del servicio y sus usuarios. En segundo lugar, los gobiernos deberían establecer las tarifas estratégicamente, de forma que los hogares más ricos puedan subvencionar a los de menos recursos. También deben estudiarse otras formas de subvencionar a la población atrapada en las zonas empobrecidas. Por ejemplo, en Sudáfrica muchos activistas exigieron al gobierno que proporcionara gratuitamente 50 litros de agua diarios a los hogares pobres, la cantidad mínima necesaria estipulada por la OMS para el mantenimiento de la higiene y la salud. En tercer lugar, las subidas de los precios del agua deberían establecerse progresivamente, no de manera súbita.

No todas las privatizaciones del suministro de agua y saneamiento han sido un fracaso. En el África Subsahariana, por ejemplo, las sociedades privadas han contribuido a la mejora de la calidad del agua. De forma más general, el éxito de las privatizaciones del suministro de agua depende en gran medida de la regulación gubernamental, de los intereses del inversor y del estado inicial de la empresa. Los países que contaban con servicios aceptables antes de la privatización, suelen mantenerlos en buen estado después de dicho proceso (OMS 1990). Cuando los estratos mas desfavorecidos de la sociedad se han beneficiado de los servicios de suministro de agua privatizados es porque la voluntad política ha estado muy presente. En Bolivia, las concesiones del suministro de agua y saneamiento de La Paz y El Alto se adjudicaron a la oferta que se comprometiera a realizar más conexiones nuevas en los barrios más humildes. El ganador de la concesión se vio obligado a conectar a 72.000 familias a la red de conducción de agua y a 38.000 a la red de saneamiento en un periodo de cinco años (Morales 1993). Además de obligar contractualmente a los proveedores privados a ampliar los servicios, los gobiernos han utilizado para ese fin los ingresos obtenidos con la privatización. Se han ofrecido incentivos financieros, tales como subvenciones de capital, a los proveedores que

abastecieran a los barrios pobres. Además, las altas tarifas que tienden a acompañar las privatizaciones pueden compensarse con subsidios dirigidos a las personas sin recursos. En Chile, las subvenciones gubernamentales garantizaron que ninguna familia gastase más del 5% de sus ingresos en agua (Rivera 1996).

Todos los países deben de tener la capacidad de decisión sobre su regulación de tal forma que se asegure el abastecimiento de agua para todos los usuarios ya sea a través de un suministro público o privado. La única forma de implementar soluciones reales y perdurables estará fundamentada en la transferencia de conocimientos y experiencia entre los diferentes países patrocinada a través del financiamiento de los países ricos, que al mismo tiempo han de evitar caer en dinámicas del pasado en el que asumían toda la ayuda y cooperación técnica impidiendo ese trasvase de información imprescindible. Con demasiada frecuencia se asume que la participación del sector privado en el suministro de agua implica recurrir a empresas multinacionales extranjeras. En muchas ciudades de los países en desarrollo, los pequeños proveedores dan cobertura a importantes sectores de la población: al 6% en Nueva Delhi, India; al 10% en Dhaka, Bangladesh; al el 19% en la Ho Chi Minh City, Vietnam; y al 44% en Yakarta, Indonesia (Morales 1993).

En las privatizaciones del suministro de agua, las autoridades públicas que gestionan los recursos hídricos suelen asumir las funciones de regulación. Sin embargo, los proveedores privados internacionales raramente cumplen los acuerdos suscritos con los gobiernos anfitriones. Será necesario mucho más apoyo internacional para instituir la capacidad de regulación en ésta y otras áreas de infraestructuras, si se pretende incrementar la contribución del sector privado en la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio.

### 1.3.4 Las organizaciones no gubernamentales

A través de muchas experiencias y trabajo se ha comprobado que algunas de las mejores soluciones de suministro de agua y saneamiento en zonas rurales han sido las implementadas por comités de usuarios apoyados por las ONG. Pero las ONG deberían ser un complemento de las actividades estatales, no un sustituto de las mismas. Las ONG también han participado en alianzas con gobiernos, empresas y organizaciones de la sociedad civil (McKee 1992). Las concesiones de servicios de suministro de agua y saneamiento a largo plazo adjudicadas a empresas privadas, suelen obligar por contrato a una ampliación significativa de la cobertura. Estas obligaciones pueden implicar capacidades y recursos que están fuera del alcance de las empresas privadas, especialmente las extranjeras. En asociación con una ONG, es posible que las empresas comprendan mejor a sus clientes (amplíen la base de clientes y mejoren el diseño de los proyectos) reduciendo así costos de capital, funcionamiento y mantenimiento. Estas alianzas también aportan credibilidad y aumentan el alcance de las campañas educativas y de concienciación. Las ONG, aplicando políticas de presión y compromiso, están definiendo nuevos programas para las empresas. Las ininterrumpidas protestas por un lado, y las asociaciones entre empresas y ONG están dando lugar a una nueva forma de regulación del comercio mundial: la regulación civil.

## **2 Estudio de las necesidades de consumo doméstico de agua**

En esta parte de nuestro trabajo pretendemos analizar las distintas cantidades de agua para el consumo doméstico que se consideran imprescindibles para asegurar la salud pública. Comenzaremos delimitando cuales de los hábitos diarios son valorados como fundamentales y plantearemos qué cantidades de agua se requieren, teniendo en cuenta condicionantes tales como los hábitos culturales, el clima de las diferentes zonas a lo largo del año o la edad, género o peso de los consumidores. El objetivo final de esta sección será encontrar un volumen genérico de agua que nos sirva de referencia como patrón de cálculo. Este patrón nos permitirá estimar cuál es la demanda real de agua en poblaciones rurales. Esto nos facilitará cuantificar de manera aproximada las necesidades básicas de pequeñas poblaciones dentro de proyectos relacionados con el abastecimiento de agua.

### ***2.1 Necesidades de consumo de agua por persona y día***

El abastecimiento de agua para uso doméstico es una de las necesidades básicas para la vida del ser humano. Tanto el acceso al agua potable como el saneamiento de las fuentes de abastecimiento condicionan la salud de millones de personas. La OMS estima que las enfermedades diarreicas son responsables de 1,73 millones de muertes al año, y que un 3,7% de todas las enfermedades están directamente relacionadas con el consumo insuficiente de agua y las limitaciones higiénicas que esta escasez impone. Otro grupo de enfermedades como el tracoma, el tifus, la malaria, afecciones de piel y ojos, etc. están también provocadas por la existencia de hábitos de higiene insuficientes, o con el uso de aguas que no reúnen las condiciones sanitarias básicas.



Es importante destacar que en este estudio pretendemos analizar el consumo doméstico dejando aparte aquellas cantidades de agua que podrían relacionarse con la industria, el comercio, el transporte, la energía o el ocio. Para ello nos centraremos en considerar la relación entre la cantidad de agua requerida, el acceso, y la distancia-tiempo a ese abastecimiento.

### 2.1.1 Usos del agua

Para empezar vamos a intentar hacer una revisión del concepto de abastecimiento de agua para uso doméstico. Nuestro análisis se centrará en aquellos hábitos diarios relacionados con el consumo directo de agua, su uso para la elaboración de comidas y la higiene, ya sea el lavado de manos, el baño, el lavado de ropa o el empleo en los sistemas de saneamiento.

Existen numerosos planteamientos distintos a la hora de considerar cuales de estos hábitos son imprescindibles para la salud pública y cuales podrían encuadrarse en un segundo plano. Si recogemos la definición elaborada por la OMS en 2002, nuestro análisis se limitaría al agua empleada en el baño, la preparación de comidas y en la ingesta directa. Sin embargo otros estudios realizados por el banco mundial o el departamento estadounidense para el desarrollo consideran el agua de uso en letrinas y cuartos de baño básica para la salud pública. Otros informes plantean incluso incluir dentro de la categoría imprescindible de abastecimiento de agua la empleada en el consumo de los animales domésticos o en el regadío de pequeños huertos, ambos básicos en muchas ocasiones en la supervivencia de pequeñas poblaciones. Por último y por reseñar un aspecto que introducen cada vez más estudios, hay que marcar la necesidad de complementar el abastecimiento básico de agua y la sostenibilidad del ecosistema. Es imprescindible controlar desde un primer momento el impacto en el entorno natural impidiendo el abuso sobre los recursos hídricos y la consiguiente alteración del medio o su completa desaparición, en el marco de progresivo aumento de situaciones de estrés hídrico que reflejamos en el capítulo anterior.

### 2.1.2 Cuantificación. Modelos. Tendencias

Con el objetivo planteado de alcanzar una cantidad genérica característica en el consumo doméstico personal de agua, detallaremos brevemente los distintos hábitos de consumo diario valorando al mismo tiempo su jerarquía a la hora de considerarlos como fundamentales para asegurar la salud humana.

#### 2.1.2.1 Necesidad directa de consumo de agua

El cuerpo humano consume agua en numerosos procesos corporales. Tanto en la digestión de comida, en la evaporación desde la piel, en pérdidas por la respiración, como en el transporte y uso de nutrientes o en la eliminación de toxinas y desechos se consumen cantidades de agua. Esta necesidad de agua por ingesta directa dependerá de muchos factores tales como los condicionantes ambientales, culturales o personales de la persona en cuestión. En cualquier caso si el consumo de agua no es suficiente el cuerpo humano puede entrar en procesos de deshidratación moderada con las graves consecuencias que acarrea esto para la salud.

La deshidratación leve implica una pérdida aproximada del 3 al 5% del peso corporal, llegando la moderada al 10% y la severa al 15% de pérdida. Esta deshidratación es el origen de múltiples afecciones. Se estima que es imprescindible evacuar un litro y medio de orina al día para evitar enfermedades relacionadas, desde el riesgo de formación de piedras hasta la aparición de cáncer. El consumo insuficiente también puede ser el causante de afecciones cardíacas, se calcula que un mínimo consumo de 1,25 litros en hombres y 0,75 en mujeres reduce notablemente las posibilidades de ataques al corazón.

Es evidente que la deshidratación no afectará de la misma manera a todas las personas. Los niños presentan unas pérdidas de fluido del 15% al día frente al 4% que pierden los adultos. Será imprescindible relacionar el consumo de agua con el peso de la persona. La OMS-UNEP plantea como valores parámetro 70Kg para el hombre adulto y 58Kg para mujeres adultas. Una vez planteado este peso tipo, se considerarán otros factores como las condiciones meteorológicas o la actividad desarrollada para poder plantear las distintas cantidades de agua de consumo imprescindibles. Como vemos en la tabla 2.1, elaborada por este organismo, las condiciones más exigentes se presentan en climas calurosos y para personas que desarrollen una actividad importante, pudiendo llegar a exigir un consumo de 3,7 litros de agua. (White et al. 1972) plantea en su estudio un mínimo de 3 litros por persona y día mientras que el US National Research Council indica unos 2,9 litros. Además dentro de las mujeres adultas, se considera imprescindible en las que atraviesan un embarazo, un consumo adicional de un litro de agua al día al menos durante los seis primeros meses de lactancia.

**Tabla 2.1.** Consumo diario de agua en litros por persona. (IPCS, 1994)

	<b>Condiciones normales</b>	<b>Temperatura media elevada (32°C)</b>	<b>Actividad moderada</b>
<b>Hombre</b>	2	2,8-3,4	3,7
<b>Mujer</b>	1,4	2,8-3,4	3,7
<b>Niña/niño</b>	1	-	-

Dentro de este consumo imprescindible de agua algunos autores defienden que una parte será aportada por los alimentos que son ingeridos con lo que las cantidades imprescindibles se podrían reducir en unas dos terceras partes respecto al total. De cualquier modo en general se asume que esta aportación por vía de los alimentos no es genérica en todas las culturas, con lo cual, reduciendo la cantidad absoluta, podríamos arriesgarnos a que en zonas donde el alimento no esté garantizado esa cantidad de agua fuese insuficiente. También con respecto a las comidas se considera relacionar el consumo de agua con la ingesta de alimentos y la energía que consumimos en su digestión, de tal manera que se recomienda el consumo de 1,5ml de agua por cada caloría de comida o Kcal. de energía, con lo que para la dieta recomendada de 2000 a 3000 Kcal. sería imprescindible un consumo de entre dos y cuatro litros y medio de agua.

Resulta evidente que deberemos escoger las condiciones más desfavorables en lo que a la exigencia de agua se refiere para poder plantear una cantidad genérica, en el caso

del abastecimiento directo que nos pueda servir de referencia en todas las circunstancias y que al mismo tiempo nos asegure que la salud no se ve afectada. Para ello y después de valorar todos los condicionantes comentados, de acuerdo con los resultados presentados por la OMS, recogidos en la tabla 2.2, planteamos que en condiciones de temperaturas medias el consumo debe estar entre el litro para los niños, los 2,2 litros para mujeres y los 2,9 litros para los hombres. Si añadimos los condicionantes de tratarse de personas con una elevada actividad y que esa persona puede estar atravesando un embarazo o un periodo lactante la cantidad imprescindible de agua para el consumo directo será de 5,5 litros de agua por persona al día. Con esta cifra aseguraremos que la salud no se puede ver afectada por procesos de deshidratación.

**Tabla 2.2** Volumen de agua imprescindible para asegurar hidratación (OMS 2003)

	Volumen de agua (litros/día)		
	En condiciones medias	Trabajo a altas temperaturas	Necesidades en periodo lactante o embarazo
Mujer	2,2	4,5	4,8-5,5
Hombre	2,9	4,5	-
Niña/niño	1,0	4,5	-

Como conclusión, las necesidades de agua para mantener la hidratación de una persona en una comunidad rural del tercer mundo, puede encuadrarse en un intervalo de entre 4,5 y 5,5 litros por persona y día, con la que tendremos en cuenta las altas temperaturas habituales en muchos países en desarrollo y el trabajo manual típico de la población usuaria en las comunidades rurales.

### 2.1.2.2 Agua necesaria para la elaboración de comidas

El agua es imprescindible en el proceso de preparación diaria de la comida de una persona. Existen numerosos factores que dificultan el poder concluir con una cantidad genérica de agua necesaria, desde los diferentes hábitos alimenticios hasta las distintas posibilidades que marca el nivel de desarrollo de cada cultura. Aún todo en múltiples estudios se plantea el uso de un alimento de referencia, generalmente el arroz y se calcula el agua necesaria para cocinar unos 600gr diarios del mismo que es lo que se recomienda imprescindible a nivel nutricional para asegurar una alimentación saludable. Con ello se estima en 1,6 litros la cantidad de agua empleada.

Algunos informes como el del instituto norteamericano para el desarrollo detallan que mientras en California el consumo en la elaboración de comidas asciende a los 11,5 litros al día más otros 15 litros en el lavado de platos en los países menos desarrollados con diez litros por persona y día son suficientes. En esta misma línea se encuentran los estudios realizados por (Gleick 1996) y (Thompson 2001) presentando los diez litros como cifra más aconsejable. Con todo y al encontrarnos detallando el consumo básico consideramos que con dos litros al día se puede garantizar que la salud humana en lo que respecta a su alimentación está asegurada.

### 2.1.2.3 Agua necesaria para la higiene

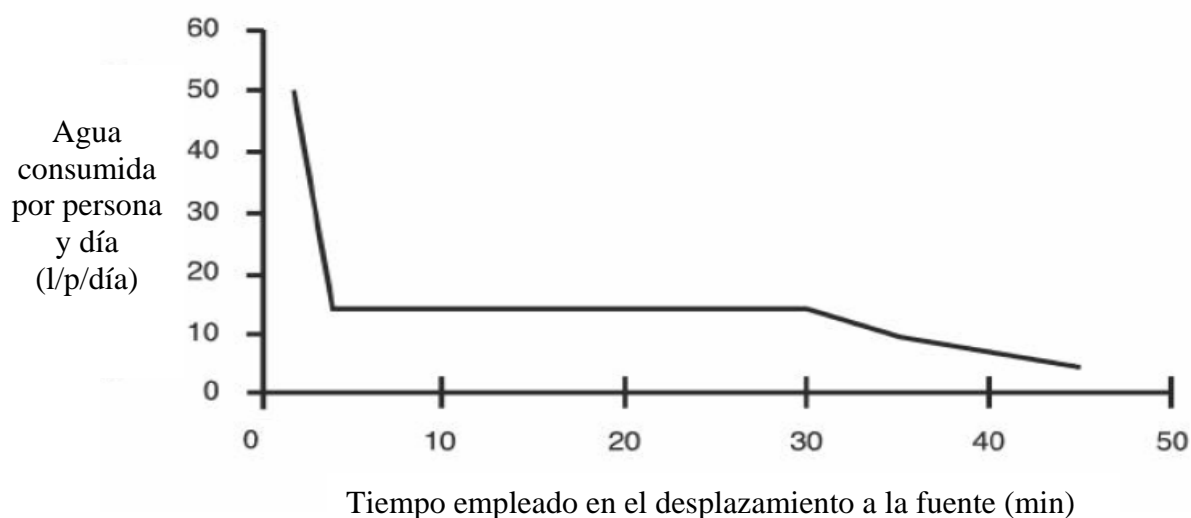
Es aconsejable que la cantidad empleada en higiene sea siempre superior a la usada para el consumo directo o la preparación de comidas. Además esta agua debe provenir de fuentes saneadas. Las consecuencias del uso de agua contaminada o de una higiene insuficiente ya sea por malos hábitos en el lavado personal (manos, cara, piel en general), el lavado de la ropa o el de los alimentos, es el origen de numerosas enfermedades tales como la diarrea crónica, afecciones en piel y ojos, tracoma, tifus, y un largo etcétera. Existen diferentes teorías a la hora de valorar las cantidades imprescindibles y priorizar la cantidad de agua sobre la mejora de la calidad. En varios estudios al respecto (van der Hoek 2002, Esrey 1985) se defiende primar la disponibilidad de mayores volúmenes de agua la calidad. De cualquier modo los avances a la hora de aumentar las cantidades de agua para el abastecimiento lograron disminuir en mayor medida las afecciones relacionadas con la higiene insuficiente provocada por la escasez como se expone en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3.** Reducción porcentual de las afecciones diarreicas ante intervenciones en el agua (OMS 2003)

Tipo de intervención	Número de estudios	Porcentaje de reducción
Todas las intervenciones	63	22
En la calidad del agua	9	16
En el acceso al agua	17	25
En calidad y acceso	8	37
En saneamiento	10	22

Este aumento en la accesibilidad estará directamente relacionado con el tiempo empleado para el abastecimiento. Por ello la distancia a la fuente de abastecimiento pasa a ser un parámetro básico a la hora de poder aumentar la disponibilidad de agua. Tanto (Gorter 1991) como Negrel (1989) muestran a través de sendos estudios sobre el terreno que los niños que se encontraban a menos de 500 metros del abastecimiento presentaban un 34% menos de casos de diarrea crónica que los que debían recorrer distancias mayores, o que reduciendo el tiempo de abastecimiento de las cinco horas a los quince minutos se lograba aumentar 30 veces la cantidad de agua empleada para la higiene. Como vemos en el gráfico 2.1 (Caircross 1987) en cuanto el desplazamiento al abastecimiento precisa de más de cinco minutos el consumo se ve reducido a cantidades mucho menores, con lo que el agua recolectaba pasa a ser la imprescindible para la supervivencia (consumo directo) dejándose la higiene en un segundo plano y en manos de aguas superficiales (ríos o lagos) o de lluvia con lo que el saneamiento no estará asegurado con las graves consecuencias que para la salud ello puede conllevar.

**Gráfico 2.1** Relación entre el agua consumida (litros por persona y día) y el tiempo (minutos) a la fuente (OMS 2003)



A través de estos análisis comprobamos que el incremento de cantidades de agua disponible repercute directamente en el aumento de los hábitos de higiene. En un estudio realizado por WELL en 1998 (OMS 2003) que resumimos en la tabla 2.4 se exponen las diferencias en ese consumo en función del tipo de abastecimiento. Vemos que mientras el acceso sea comunitario y se encuentre fuera del domicilio el consumo se reduce a los 15 litros mientras si ese mismo acceso se sitúa en la vivienda las cantidades aumentan notablemente alcanzando incluso los 155 litros para conexiones dentro de la casa. De nuevo queda claro como las cantidades de agua se ven seriamente reducidas si el acceso implica mayor empleo de tiempo.

**Tabla 2.4** Consumo de agua en función del tipo de abastecimiento (OMS 2003)

Tipo de abastecimiento	Consumo medio (litros por persona y día)	Nivel de servicio
Fuentes tradicionales	15	Comunal
Conexión en el patio de la casa	50	Compartido
Conexión en el hogar	155	Individual

A partir de todo lo anterior pretendemos introducir los contrastes existentes en los hábitos de higiene de aquellas zonas donde el abastecimiento se encuentra fuera de los núcleos de población frente a otras en que la accesibilidad al agua es superior. En un estudio realizado en Kenia, Tanzania y Uganda en aquellas poblaciones que no contaban con acceso en sus casas el consumo de agua para lavar la ropa era de unos 6,6 litros y empleaban unos 7,3 litros para bañarse, en cambio las viviendas con conexión de agua potable gastaban 16,3 litros en la colada y cerca de 17,4 litros en el baño.

Por todo esto y con el objetivo de encontrar esa cantidad de agua imprescindible para la higiene personal entendemos que esta cifra ha de estar directamente relacionada con la distancia a la fuente, de tal manera que esa distancia marcará realmente cuales son las posibilidades reales de acceder a una higiene adecuada a través de ese consumo de agua. Además de establecer una cantidad mínima, el volumen de agua que usen las viviendas dependerá de la accesibilidad, la que se determina principalmente por la distancia, el tiempo, la confiabilidad y los costos potenciales. La accesibilidad se puede categorizar en términos del nivel de servicio. Como se resume en la tabla 2.5 solo logrando que el abastecimiento este a menos de cinco minutos del domicilio, o en su interior alcanzaremos el objetivo de asegurar que el acceso al agua es el suficiente para evitar enfermedades relacionadas con la higiene. La tabla presenta cuatro categorías en función del tiempo empleado en el abastecimiento, a partir de ahí y planteando que más tiempo implica directamente un menor consumo de agua se consideran las cantidades para cada categoría y como cada una de ellas afecta a la salud en función de lo asegurada que esté una higiene adecuada. La categoría que asegura un mínimo de higiene sería a partir de al menos los 20 litros diarios por persona, que teniendo en cuenta que al menos 7,5 se emplean para el consumo directo y la preparación de comidas, deja un margen muy estrecho respecto a lo que la higiene personal requiere. Las cantidades estimadas de agua en cada nivel pueden ser menores si el abastecimiento de agua es intermitente, lo que incrementará el riesgo de que ingrese agua contaminada a los sistemas de abastecimiento de agua. Si el acceso es óptimo pero el abastecimiento es intermitente, la operación de los sistemas de saneamiento relacionados con el abastecimiento de agua podría verse afectados y generar mayores riesgos de salud.

**Tabla 2.5** Nivel de servicio de agua en relación con la accesibilidad, las necesidades atendidas y los efectos en la salud (OMS 2003).

<b><u>Nivel del servicio</u></b>	<b><u>Medición del acceso</u></b>	<b><u>Necesidades atendidas</u></b>	<b><u>Nivel del efecto en la salud</u></b>
<b>Sin acceso</b> (cantidad recolectada generalmente menor de 5 l/r/d)	Más de 1.000 m ó 30 minutos de tiempo total de recolección	Consumo Higiene no garantizada (a no ser que se practique en la fuente)	Muy alto
<b>Acceso básico</b> (la cantidad promedio no puede superar 20l/r/d)	Entre 100 y 1.000 m ó de 5 a 20 minutos de tiempo total de recolección	Consumo El lavado de manos y la higiene básica de la alimentación es posible; es difícil garantizar la lavandería y el baño a no ser que se practique en la fuente	Alto
<b>Acceso intermedio</b> (cantidad promedio de aproximadamente 50 l/r/d)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m ó 5 minutos del tiempo total de recolección)	Consumo La higiene básica personal y de los alimentos está asegurada; se debe asegurar también la lavandería y el baño	Bajo
<b>Acceso óptimo</b> (cantidad promedio de 100 l/r/d y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo Se atienden todas las necesidades Higiene	Muy bajo

Los beneficios a la salud pública que ofrece el uso de mayores volúmenes de agua generalmente provienen de dos mejoras principales. La primera se refiere a la superación de la falta de acceso básico debido a las distancias y al tiempo de recolección del agua que dan lugar al uso de volúmenes inadecuados para la higiene básica personal y para el consumo humano. La otra al disponer de más tiempo, por ejemplo, para el cuidado de niños y la preparación de alimentos y actividades productivas. Si bien los beneficios para la salud debido al mayor acceso al agua podrían parecer limitados, se debe tener en cuenta los beneficios de tener más tiempo, inclusive para la educación, ya que pueden ser importantes para el desarrollo. También puede haber otras mejoras en niveles más altos del servicio relacionadas con el mayor acceso, el control de la calidad del agua potable y un mejor nivel socioeconómico.

Si no se logra un nivel básico de acceso al servicio, no se podrá asegurar la higiene y se podrían poner en riesgo los requisitos para el consumo. Por lo tanto, proveer un nivel básico de acceso es la más alta prioridad para los sectores de agua y de salud. En la población que recibe niveles básicos de servicio, los beneficios para la salud pública se logran principalmente mediante la protección de las fuentes de agua, la promoción de buenas prácticas de higiene, el manejo y tratamiento domiciliario del agua y otras conductas clave de higiene en situaciones críticas (especialmente el lavado de manos y cara).

### **2.1.2.4 Agua necesaria para asegurar el saneamiento**

En algunos de los informes comentados se plantea la necesidad de valorar la influencia de asegurar los servicios de saneamiento, al menos los más directamente relacionados con la salud infantil. Más concretamente se resalta la trascendencia del agua imprescindible para garantizar el saneamiento adecuado de los procesos de defecación o tratamiento de excrementos humanos. Es evidente que la tecnología elegida para este proceso dependerá de la accesibilidad al agua, de la economía de la zona, de la regulación que exista y por supuesto de factores culturales y sociales. Existen diferentes alternativas respecto a esa tecnología, siendo las menos exigentes en las cantidades de agua empleadas aquellas en donde el agua no está directamente bombeada al servicio, que requieren desde los 1 o 2 litros a los 6 litros por persona al día. Con todo, se plantea que si se asegura el empleo de 20 litros por persona al día para este saneamiento las consecuencias respecto a la reducción de riesgos en enfermedades relacionadas es evidente (Esrey 1985).

Aunque esta necesidad de agua no entre dentro de la categoría de básica, el acceso a cantidades de agua para el saneamiento junto a una educación relacionada al respecto limita notablemente la incidencia de numerosas enfermedades.

### 2.1.2.5 Agua necesaria para el mantenimiento de los ecosistemas

Dentro del debate al respecto de la consideración del agua imprescindible para la supervivencia existe una corriente de autores que considera que es de vital importancia para la sostenibilidad de la vida humana valorar la posibilidad de excluir del agua disponible para esta cantidad de agua básica una proporción relacionada con la protección de los ecosistemas.

Se trata al fin y al cabo de garantizar la continuidad del entorno natural, para la cual sería muy importante limitar el agua que se extrae de cuencas fluviales de tal forma que se frene la desaparición de especies animales que el uso abusivo e incontrolado en la explotación de los recursos hídricos esta provocando actualmente.

### 2.1.2.6 Otras necesidades de agua

Existen otros muchos usos humanos del agua que podrían entrar en esta categoría de imprescindibles en algunas culturas, sería el caso de la empleada en el ámbito industrial, el comercial, para la generación de electricidad o para la calefacción o la refrigeración. Aún todo, estas categorías no las consideraremos como básicas y por tanto no detallaremos ninguna especificación.

## 2.1.3 Conclusiones

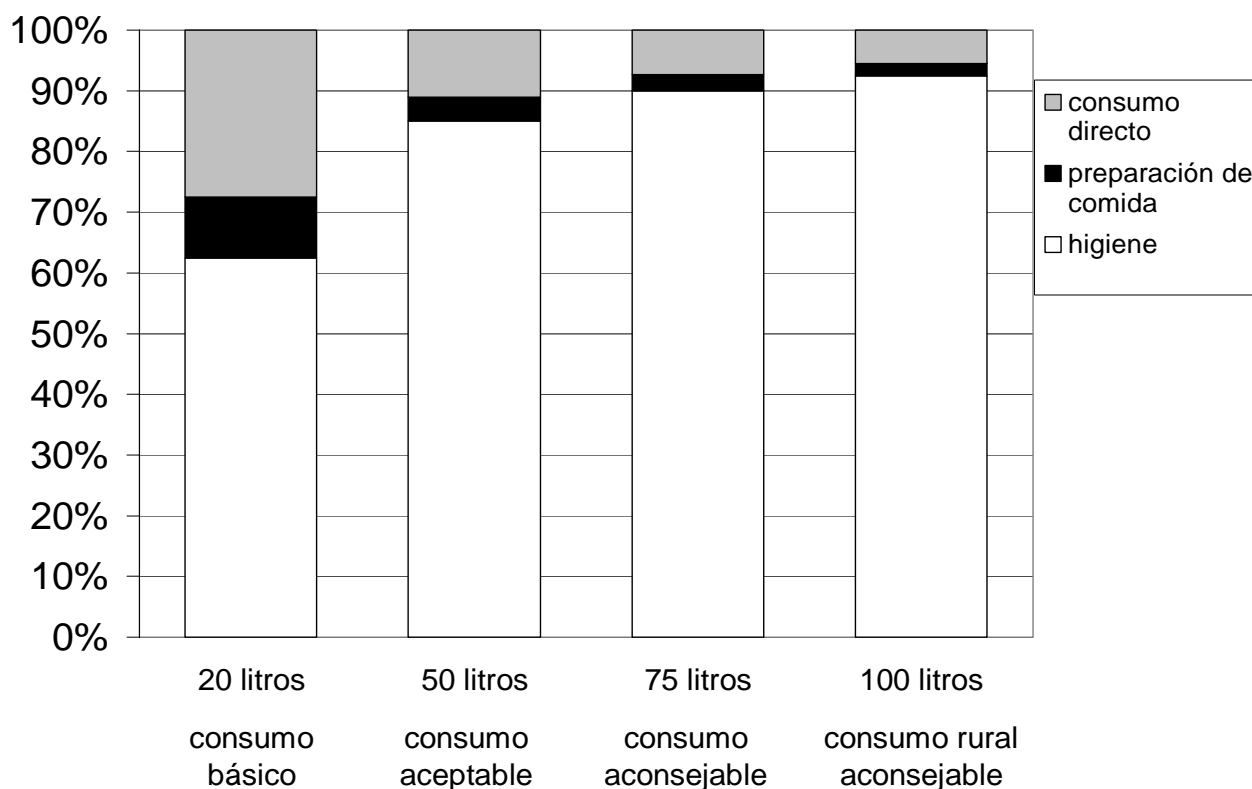
A través de todo este análisis hemos pretendido detallar los distintos campos que desde diferentes estudios se han considerado importantes a la hora de concluir cual es la cantidad de agua imprescindible para garantizar que la salud humana esta asegurada. Se valoró en el campo del consumo directo de agua diario que era imprescindible el poder acceder a entre 4,5 y 5,5 litros logrando así incluir para esta cantidad las situaciones habituales, incluyendo situaciones de actividad física elevada, en condiciones de alta temperatura o los periodos de embarazo y lactancia. También hemos considerado como básico el abastecimiento de agua relacionado con la preparación de comidas concluyendo que con 2 litros esta categoría se puede ver satisfecha siempre y cuando el agua relacionada con el lavado de alimentos no esté incluida. Este agua se introduce dentro de considerada para la higiene en general. Para asegurar una higiene adecuada, limitando así el riesgo de contraer enfermedades relacionadas, como la diarrea, el tifus, el tracoma etc. se concluyó que la cantidad de agua ha de estar directamente relacionada con la distancia a la fuente, de tal manera que esa distancia marque realmente cuales son las posibilidades reales de acceder a una higiene adecuada a través de ese consumo de agua, ya que esta comprobado que si esta distancia aumenta es el agua empleada para la higiene la que directamente se ve reducida.



A partir de estas tres categorías y contrastando las cantidades respectivas con los informes estudiados y con los estándares reconocidos internacionalmente tanto por las naciones unidas, el banco mundial o la OMS se valoró como imprescindible el asegurar la accesibilidad del agua al menos a 50 litros por persona y día. De esta manera se puede garantizar que la salud no se verá afectada por la escasez de agua. Este acceso se considerará asegurado siempre y cuando la fuente de abastecimiento este situada a menos de cinco minutos del domicilio de los consumidores.

Se analizó también que si esta cantidad no alcanzaba los 50 litros, es decir si la distancia al abastecimiento requería más de esos cinco minutos, era imprescindible que nunca estuviese por encima de la media hora, y de esta manera asegurar al menos 20 litros por persona y día de tal forma que aunque la salud no se encuentre completamente asegurada con respecto al consumo de agua al menos se garantice la supervivencia. En el gráfico 2.2 se recoge dentro de estas distintas categorías de consumo que hemos valorado como básica de 20 litros, aceptable de 50 y aconsejable de 75, el porcentaje de agua que se emplea en higiene, el que se usa en la preparación de alimentos y el que es utilizado en el consumo directo. Como se puede observar la cantidad de agua destinada a la higiene aumenta porcentualmente respecto al total del agua consumida cuando el abastecimiento garantizado aumenta, lo que nos permite comprobar la relación directa que existe entre la cantidad de agua disponible, la higiene y el aseguramiento de la salud que esta última implica.

**Gráfico 2.2** Porcentaje de agua empleada en la higiene, en la preparación de comidas y en el consumo directo para distintos abastecimientos de agua por persona y día.



Hemos considerado también otras necesidades que también consideramos imprescindibles, como el saneamiento de los sistemas de eliminación de excrementos humanos o la consideración de la sostenibilidad de los ecosistemas, seriamente amenazada por la explotación abusiva de agua.

Por todo lo anterior y considerando fundamental afrontar de una manera global el problema, es evidente que la resolución de este conflicto pasa por reducir el abuso que desde el primer mundo se hace de los recursos hídricos, al tiempo que se intenta garantizar que cualquier persona tenga la posibilidad de acceder al menos a una cantidad de agua de entre 50 y 75 litros diarios. De esta forma lograremos minimizar los efectos de la escasez de agua para millones de personas, reduciendo las posibilidades de contraer graves enfermedades relacionadas. Además si se construye esa legislación que permita exigir un mayor control dentro de los países desarrollados a la hora de valorar que consumos se están realizando y si son acordes con la sostenibilidad del medio ambiente lograremos también un uso más razonable del agua.

Si hacemos una rápida revisión a nivel mundial de cual es la situación con respecto a este objetivo de alcanzar al menos los 50 litros por persona y día vemos, como se presenta en la tabla 2.6 que en muchos países se está muy lejos de alcanzar. Es más, existen amplias bolsas de población en otros países no incluidos en esta lista que carecen de este abastecimiento mínimo, sería el caso de India o China que aunque de media si estén fuera de la clasificación anterior sus grandes diferencias sociales hacen que unos pocos disfruten de grandes cantidades de agua mientras que la mayoría sufre graves carencias, que conllevan la presencia de graves afecciones en la población. Además de recogerse la información del consumo doméstico por país, en la tabla se presenta un porcentaje de cumplimiento respecto al objetivo de 50 litros por persona y día. Es evidente que el continente africano es el más seriamente afectado, con nueve de los diez países con más escasez. También los informes sobre desarrollo humano que elabora la ONU nos permiten comprobar que en el año 2000 existían más de 1100 millones de personas dentro de una población de 6000 millones que no tenían garantizada su supervivencia, es decir sin posibilidad de acceder a más de cinco litros de agua por persona y día, encontrándose el abastecimiento al menos a media hora de su residencia. En este estudio se comprueba que menos de la mitad de la población mundial no se ve afectada con enfermedades relacionadas con la escasez en el acceso al agua.

**Tabla 2.6** Países con un consumo inferior a los 50 litros por persona y día en 1990 (Gleick 1996).

Country	1990 Population (million people)	Total Domestic Water use in liters/ person/day	<b>Total Domestic Use as a Percentage of the BWR of 50 liters per person per day</b>
Gambia	0.86	4.5	<b>9</b>
Male	9.21	8.0	<b>16</b>
Somalia	7.50	8.9	18
Mozambique	15.66	9.3	19
Uganda	18.79	9.3	19
Cambodia	8.25	9.5	19
Tanzania	27.32	10.1	<b>20</b>
Central Africa Republic	3.04	13.2	<b>26</b>
Ethiopia	49.24	13.3	<b>27</b>
Rwanda	7.24	13.6	<b>27</b>
Chad	5.68	13.9	28
Bhutan	1.52	14.8	30
Albania	3.25	15.5	<b>31</b>
Zaire	35.57	16.7	<b>33</b>
Nepal	19.14	17.0	34
Lesotho	1.77	17.0	34
Sierra Leone	4.15	17.1	<b>34</b>
Bangladesh	115.59	17.3	<b>35</b>
Burundi	5.47	18.0	36
<b>Angola</b>	10.02	18.3	37
Djibouti	0.41	18.7	37
Ghana	15.03	19.1	38
Benin	4.63	19.5	<b>39</b>
Solomon Islands	0.32	19.7	<b>39</b>
Myanmar	41.68	19.8	40
Papua New Guinea	3.87	19.9	40
Cape Verde	0.37	20.0	40
Fiji	0.76	20.3	<b>41</b>
Burkina Faso	9.00	22.2	<b>44</b>
Senegal	7.33	25.4	<b>51</b>
Oman	1.50	26.7	<b>53</b>
Sri Lanka	17.22	27.6	55
Niger	7.73	28.4	57
Nigeria	108.54	28.4	57
Guinea-Bissau	0.96	28.5	57
Vietnam	66.69	28.8	58
Malawi	8.75	29.7	<b>59</b>
Congo	2.27	29.9	<b>60</b>
Jamaica	2.46	30.1	60
Haiti	6.51	30.2	60
Indonesia	184.28	34.2	<b>68</b>
Guatemala	9.20	34.3	<b>69</b>
Guinea	5.76	35.2	70
Cote D'Ivoire	12.00	35.6	71
Swaziland	0.79	36.4	73
Madagascar	12.00	37.2	74
Liberia	2.58	37.3	75
Afghanistan	16.56	39.3	79
Uruguay	3.09	39.6	<b>79</b>
Cameroon	11.83	42.6	<b>85</b>
Togo	3.53	43.5	<b>87</b>
Paraguay	4.28	45.6	<b>91</b>
Kenya	24.03	46.0	<b>92</b>
El Salvador	5.25	46.2	<b>92</b>
Zimbabwe	9.71	48.2	96

En los casos en los que no se ha logrado el acceso universal a un nivel básico del servicio, las iniciativas de las políticas deberán centrarse en aumentar la cantidad de viviendas con este nivel de servicio. Para obtener los máximos beneficios para la salud se deberán asignar recursos para asegurar que todas las viviendas tengan acceso a fuentes mejoradas de agua como son las conexiones domiciliarias, las fuentes públicas de agua, los pozos protegidos o fuentes protegidas o la recolección de agua de lluvia. También se pueden obtener beneficios significativos al lograr que las viviendas con acceso a fuentes mejoradas tengan conexión domiciliaria. Comparativamente, los beneficios para la salud que ofrece el acceso a fuentes mejoradas fuera de la vivienda podrían ser limitados. El avance de las políticas de todos los países debería apuntar hacia la conexión domiciliaria, principalmente en aquellos países que han atendido las necesidades básicas. Los beneficios para la salud, entre otros, que ofrece el abastecimiento mejorado de agua son significativamente mayores cuando hay una continuidad en el acceso al agua potable segura dentro de la vivienda. En este caso, el nivel del servicio se considera óptimo.

## ***2.2 Necesidades específicas de consumo de agua potable en poblaciones rurales***

Antes de terminar con esta parte del estudio y con el objetivo de conocer si las cantidades de agua imprescindible para el consumo humano que hemos planteado se pueden ver afectadas por las especificidades del ámbito rural queremos analizar con más detalle hasta que punto algún factor más se puede considerar trascendental para asegurar que la accesibilidad al agua básica no afecta a la salud.

### **2.2.1 Agua necesaria para agricultura y ganadería de subsistencia**

Existe un debate acerca de considerar imprescindible o no, el abastecimiento de agua de tal forma que quede garantizada una agricultura o una ganadería de subsistencia en poblaciones rurales. Se plantea que a través de esta agua se favorece el acceso de una familia a una pequeña producción que sustente su alimentación que asegure al mismo tiempo su salud en ese ámbito (Rogerson 1994).

Para cuantificar la cantidad de agua que sería necesaria es preciso revisar consideraciones nutricionales, además de estudios de las condiciones climáticas y las tecnologías de elaboración de alimentos y de regadío. En un estudio de Naciones Unidas a través de la FAO (FAO 1993), se presenta la dietas características de varias regiones del planeta que vemos en la tabla 2.7 (recogida de Gleick 1996) y se introduce la posibilidad de que considerando todos los factores que acabamos de enumerar se pueda dar una cifra

aproximada de la cantidad de agua aproximada dentro de cada zona con sus especificaciones correspondientes. Se plantea de ejemplo en el mismo informe una comparación del agua necesaria para alcanzar las exigencias en carne de las dietas respectivas que presentamos a continuación en la tabla 2.8 (recogida de Gleick 1996). Se comprueban las grandes diferencias de una zona a otra motivadas por las distintas tecnologías de riego o por los contrastes entre culturas o las condiciones meteorológicas.

**Tabla 2.7** Calorías por persona y día en diferentes dietas (Gleick 1996)

Region	Maize	Soy-bean	Sorghum, Wheat	Rice	Pulses	Roots	Vegetables	Fruits	Vegetable Oils	Animal Fat	Sheep	Beef	Pig	Poultry	Eggs	Milk	Fish	Alcohol	Sweetener	All Other
Africa, South of Sahara	351	237	195	281	81	332	21	90	169	22	14	36	25	15	6	67	25	51	145	25
Centrally Planned Asia	118	43	380	1143	51	144	43	40	59	39	68	45	104	10	17	36	25	52	82	43
Eastern Europe	143	0	1095	32	39	100	74	74	269	274	20	79	202	47	50	250	15	165	381	37
Former USSR	3	16	1043	72	17	180	56	54	248	219	15	205	91	42	59	244	73	133	458	25
Latin America	274	13	438	256	69	124	30	133	220	63	11	89	50	65	20	156	30	78	401	34
Middle East/North Africa	84	28	1103	203	69	68	70	137	339	47	48	41	2	45	24	125	15	12	308	51
OECD-Pacific/Oceania	42	12	492	315	25	326	49	147	209	98	57	90	96	64	28	118	71	80	329	43
South and East Asia	87	41	315	1075	51	62	39	57	190	30	3	23	61	38	18	60	51	43	202	38
Western Europe	37	0	647	43	25	151	70	123	383	243	30	116	307	47	49	342	54	189	413	80
North America	27	2	537	112	28	81	105	146	364	129	21	232	202	136	46	267	48	154	431	68

"All others" includes sugar, nonalcohol stimulants, spices, offals, tree-nuts, other meats, and other aquatic.

**Tabla 2.8** Agua necesaria en la producción de carne y en irrigación para el abastecimiento característico en distintas dietas (Gleick 1996).

	California	Egipto	Túnez
<b>Porcentaje de agua empleada para producir carne</b>	64	21,4	26,9
<b>Porcentaje de agua empleada en irrigación</b>	71,4	69	57,3

En la práctica no es fácil distinguir en el nivel domiciliario entre el uso casero del agua y el uso productivo, principalmente en las comunidades rurales pobres. El uso casero del agua forma parte de las estrategias de supervivencia de la población con menores recursos económicos en el nivel domiciliario. El aseguramiento de la calidad adecuada del servicio para mantener el uso productivo de pequeña escala también puede generar beneficios sociales y de salud significativos, por ejemplo, en la producción de alimentos. Por lo tanto, el acceso al agua de calidad adecuada para la actividad productiva de pequeña escala en tales áreas es importante en la lucha contra la pobreza y puede dar lugar a beneficios indirectos pero significativos para la salud.

Aún cuando es difícil de precisar la cantidad de agua necesaria para esta producción de subsistencia nos parece muy importante aumentar esa cantidad que hemos introducido en el apartado anterior a los 100 litros por persona al día para ámbitos rurales.

## 3 Bombas manuales de agua

En los dos capítulos anteriores hemos pretendido, analizando primero la situación mundial en el abastecimiento de agua y estudiando a continuación las necesidades básicas para una persona, plantear un contexto que sirva de referencia a la hora de entender la trascendencia del desarrollo de sistemas de bombeo de agua que permitan reconducir la situación a nivel global.

Dentro de las distintas tecnologías disponibles para asegurar el abastecimiento en nuestro ámbito de estudio comprobaremos como los sistemas de bombeo manual son especialmente interesantes por su coste, facilidad de montaje, manejo y mantenimiento y sostenibilidad. Y como por ello su implantación han sido impulsada por los diferentes organismos internacionales bajo el paraguas de la ONU o el BM.

Pasamos ahora a describir el funcionamiento de los diversos de bombeo. Estudiaremos su clasificación, sus principios de funcionamiento y sus parámetros básicos, estableciendo un modelo teórico de referencia y realizando una evaluación de su capacidad operativa.

### **3.1 *Introducción a la bomba manual***

En esta parte del capítulo nos introduciremos en el análisis de estos sistemas de bombeo, haremos una descripción de los mecanismos más utilizados que nos permitirá comprender la trascendencia del bombeo manual en el marco de estudio comentado contrastándolo con los sistemas de bombeo no manuales que también se emplean en este ámbito rural de escasez en el abastecimiento de agua. A continuación revisaremos el recorrido de la bomba manual a través de su historia, su evolución y su tipología. Comprobaremos cuales son sus posibilidades a la hora de enfrentarse al abastecimiento de agua valorando condicionantes tales como el tipo de población, la situación geográfica o los recursos económicos que implica. Finalizaremos concretando las posibilidades de acceso a estas tecnologías y en qué punto se encuentran.

### 3.1.1 Sistemas de bombeo habituales en el primer mundo y su aplicación en el tercero

Dentro del ámbito de abastecimiento de agua en el que estamos realizando el estudio existen tanto en el plano del mecanismo de la bomba como en el del sistema de potencia que acciona esa bomba varias opciones bastante habituales que se presentan como otra posibilidad al bombeo manual.

Si analizamos los mecanismos nos encontramos que en muchas ocasiones se recurre al uso de bombas centrífugas horizontales y turbinas de eje vertical y sumergible, de la utilización del ariete hidráulico o de la bomba hidroneumática. Si en cambio nos fijamos en las fuentes de energía de los equipos de bombeo en muchas instalaciones se ha optado por motorizar los sistemas, ya sea a través de motores eléctricos o de gasolina, y dentro de los eléctricos los abastecidos a través de la transformación de la energía solar o eólica.

Ambas políticas de diseño frente al bombeo manual requieren mayores gastos de inversión y operación y en la mayoría de casos costos más elevados de mantenimiento, pero en situaciones determinadas estas bombas motorizadas pueden resultar la única opción. Ya sea porque es necesario un sistema de almacenamiento y distribución como por ejemplo, en hospitales rurales. Donde es viable desde el punto de vista económico, por ejemplo, en los vecindarios pobres de alta densidad demográfica. O donde la comunidad esté dispuesta a pagar los costos más elevados de inversión, operación y mantenimiento de tal sistema, y cuente con los medios para hacerlo. Es habitual también si la zona cuenta con una fuente de energía relativamente económica y confiable, generalmente, la electricidad, o se requiere un mayor rendimiento que el que ofrece una bomba manual como en las comunidades con un solo pozo de sondeo que necesitan agua para otros fines, como abreviar el ganado o para el riego. Además su uso es obligado en las zonas donde la única agua disponible proviene de fuentes de aguas subterráneas a más de 70m de profundidad, existe una situación de emergencia (como el crecimiento veloz de los campamentos de refugiados) o donde la única fuente de agua la constituyen las aguas de superficie (Michael A.M. 1989).

A continuación describimos muy brevemente las características más notables tanto de los mecanismos de bombeo como de los sistemas de potencia empleados frente a la bomba manual dentro del ámbito de poblaciones rurales dispersas del tercer mundo que sufren escasez de agua.



### 3.1.1.1 Motores

Los motores de combustión interna más utilizados son los que emplean gasolina, queroseno o gasoil. Los motores diesel son más caros aunque presentan más robustez y mejores prestaciones, teniendo además una vida útil de trabajo más larga y permitiendo regímenes de funcionamiento mayores diariamente. Por el contrario los motores de gasolina presentan mejores condiciones respecto al peso del equipo, facilitando la movilidad y siendo además más económicos. En la tabla 3.1.1 se presentan los cinco motores más habituales en el abastecimiento de agua dentro de los proyectos de cooperación en los que trabaja UNICEF.

**Tabla 3.1.1** Motores de combustión interna más habituales en el abastecimiento de agua dentro de los proyectos de cooperación en los que trabaja UNICEF.

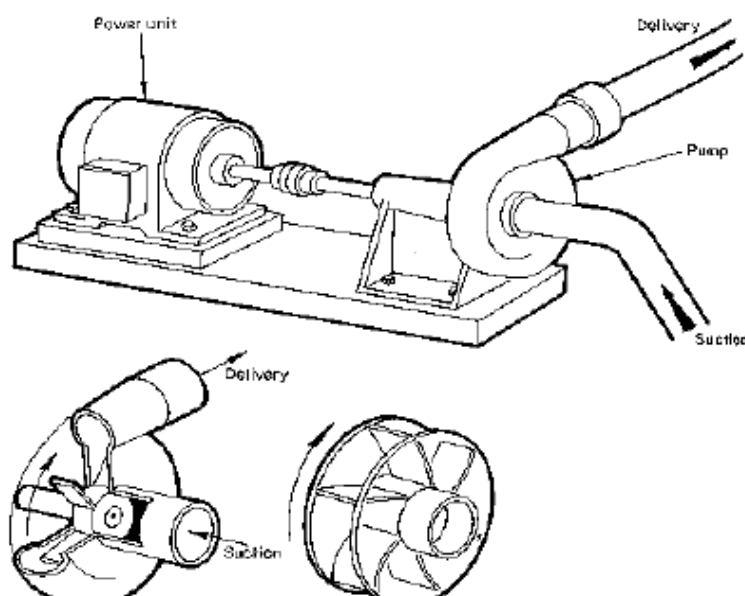
Tipo de motor	Potencia	Nombre
Gasolina	3,7 kW (5 hp)	Yamaha-Honda
Gasolina	3,7 kW (5 hp)	ACME
Diesel	3,7 kW (5 hp)	PA50L40
Diesel	36,5 kW (49 hp)	Perkins
Diesel	32,1 kW (43 hp)	YDA MK2/YDAX

Los motores eléctricos en cambio dependen de la existencia de una red, o de la instalación de transformadores de energía eólica o solar. Aunque sea una energía mucho más limpia, actualmente existen muy pocos proyectos que hayan logrado implementar estos equipos de manera eficaz ya que se trata una tecnología que tanto a nivel de conocimiento como de materiales exige una formación y unos recursos que se alejan de los que están al alcance de la población usuaria en este ámbito de actuación.

### 3.1.1.2 La bomba centrífuga

Es la bomba empleada más habitualmente en zonas rurales en el abastecimiento de agua. Es dentro de los sistemas motorizados, relativamente barato, existiendo además diseños de pequeña potencia que pueden usarse por unidades familiares, o por las comunidades más reducidas. Estará ensamblada a un sistema de potencia ya sea a través de un motor eléctrico como en la figura 3.1.3 en el dibujo superior, un molino de viento, etc.

**Figura 3.1.3** Bomba centrífuga (dibujo superior derecha) ensamblada a un motor (dibujo superior izquierda). Secciones de una bomba centrífuga (dibujo inferior)



Como se recoge en la tabla 3.1.2 las bombas centrífugas normalmente vienen definidas por el diámetro de la tubería de subida del agua bombeada y por la potencia necesaria para un caudal determinado. Los principales componentes de una bomba centrífuga son el tambor y la carcasa. El tambor es un disco con álabes que giran del centro hacia el exterior. Éste, al girar a una velocidad suficientemente alta, produce el flujo ascendente gracias a la fuerza centrífuga. El agua es lanzada hacia el conducto de salida creando una succión que fuerza la entrada de más agua. Si la altura de elevación necesaria es mayor que la capacidad de una bomba, se pueden conectar varias en serie (bomba multi-etapa). La eficiencia de bombeo tiende a mejorar cuando aumenta la velocidad de rotación.

**Tabla 3.1.2** Regímenes de funcionamiento de potencia y caudal respecto al diámetro de la tubería de bombeo, más habituales de una bomba centrífuga.

Potencia kW (hp)	Tubería de bombeo (mm)	Caudal de descarga (l/s)
1,5 (2)	25	0-5
3,7 (5)	50	5-15
5,2 (7)	75	15-25
6,7 (9)	100	25-35
>6,7 (>9)	125	35-50

### 3.1.1.3 El Ariete Hidráulico

Esta bomba funciona gracias a la energía de flujo de agua cayendo desde cierta altura. El mecanismo está basado en el fenómeno conocido en hidráulica como golpe de ariete. El agua se escapa a través de una válvula de impulso abierta, cuando el flujo a través de la válvula de impulso es suficientemente rápido, ésta se cierra bruscamente, entonces el agua en movimiento se detiene, produciendo una sobrepresión en la tubería por la que el agua es forzada a pasar por la válvula de retención. La cámara de aire sirve para regular la salida de agua, ya que absorbe parte de la sobrepresión. Cuando la sobrepresión se agota completamente, una pequeña succión creada por el caudal de agua, junto con el peso del agua en la tubería, cierra la válvula de retención y evita que el agua retorne a la cámara de la bomba. Se abre entonces la válvula de impulso, el agua empieza a escaparse y empieza un nuevo ciclo.

No requiere de ninguna fuente de energía exterior aunque sólo son adecuadas para ríos o fuentes de agua muy importantes (no se pueden usar para bombear desde pozos o manantiales con un caudal débil). Para su funcionamiento, es necesaria una fuente de agua estable y fiable con una caída de al menos 2 metros. Una vez ajustada la válvula de impulso, la bomba de golpe de ariete no necesita más atención, solo de vez en cuando es necesario desmontar la bomba para limpiarla. La mayoría de las bombas de golpe de ariete funcionan al punto óptimo de su eficiencia cuando la altura de agua de entrada es una tercera parte de la altura de bombeo.

El volumen de agua que suministran los arietes multipulsos depende del modelo y de las condiciones de la instalación. Los arietes fabricados pueden alcanzar volúmenes de entrega del orden de las decenas de  $\text{m}^3$ , aunque pueden superar los  $100 \text{ m}^3$ . Su uso es versátil por cuanto puede abastecer tanto a los asentamientos poblacionales rurales como a la agricultura, bien sea, a la rama pecuaria o al riego de pequeñas parcelas de hasta 1 a 2 ha.

### 3.1.1.4 La Bomba Hidroneumática

La bomba hidroneumática está llamada a ser una alternativa atractiva en la familia de los equipos aireadores. La bomba está compuesta por un tubo enrollado en forma de serpentina con un extremo libre que al rotar se sumerge en el agua, es capaz de actuar como tornillo sinfín arrastrando las columnas de agua y aire que pueden ser descargadas a un recipiente. Este tipo de bomba, según los antecedentes, ha sido aplicada únicamente para elevar agua aunque a poca altura ( $< 5$  metros), con relativa eficiencia. La presión máxima que se puede obtener depende de la cantidad de vueltas que conforman el espiral y el diámetro del mismo.

La fuerza motriz puede lograrse con la hidroenergía; de existir una corriente de agua con velocidad suficiente, el dispositivo se pone a funcionar como si fuera una rueda hidráulica. Sin embargo, cuando la energía para el movimiento del espiral es la convencional, bien sea a través de motores eléctricos o motores de combustión interna, por lo eficiente de la bomba, los consumos energéticos son menores que los sistemas tradicionales de aireadores.

### 3.1.1.5 Energía eólica

Los molinos de viento mecánicos para bombeo de agua, mejor conocidos como aerobombas, son utilizados para una amplia variedad de aplicaciones, tales como el suministro de agua limpia para fines domésticos, el suministro de agua para ganado, las labores de irrigación, el drenaje, o el movimiento de agua en granjas piscícolas, entre otras. Las aerobombas extraen la energía del viento a través de un rotor y convierte su movimiento rotacional en acción mecánica con algún mecanismo que permite mover una bomba y así producir la acción de bombeo. Es por esto que existen diversas alternativas de disposición de elementos mecánicos para bombear agua con la energía de los vientos.

Esencialmente, una instalación de aerobombeo es conformada por rotor, torre, un sistema de transmisión de movimiento, la bomba misma, un sistema de tuberías para el movimiento de agua y cuando se requiera un tanque de almacenamiento. Dependiendo de la aplicación y de la disponibilidad tecnológica se han desarrollado diferentes tipos de sistemas de aerobombeo. La elección del tipo de bombas es bastante amplia y se han realizado diseños con bombas de pistón, bombas centrífugas, de tornillo, de ascenso de aire, de mecate, etc.; cualquier combinación depende de la fuente de agua disponible.

El tamaño de las aerobombas de acción mecánica directa puede estar entre 1 hasta 8 metros del diámetro del rotor, y dependiendo de la altura de bombeo (cabeza hidráulica) y de las velocidades promedios del viento, la potencia hidráulica promedio puede estar entre unos cuantos vatios hasta cerca de 1 kW. Para demandas hidráulicas mayores se pueden utilizar sistemas eólicos-eléctricos de bombeo, los cuales permiten generar electricidad y a través de una transmisión eléctrica se maneja un motor eléctrico con su respectiva bomba. En el mercado internacional se encuentran disponibles estos sistemas para aplicaciones típicas con demandas hasta de 10 kW (Fraenkel P. 1993). Sin embargo, sistemas de mayor potencia pueden ser también utilizados.

En la actualidad, existen más de un millón de instalaciones de aerobombas en operación alrededor del mundo, primordialmente en países como la India, China, Brasil, Nicaragua, Colombia, Botswana, Kenia, Zimbabwe, Sudáfrica, Australia, entre otros; en los cuales se han realizado desarrollos tecnológicos locales interesantes y el uso de esta alternativa energética ha sido amplio en los años más recientes.

### 3.1.1.6 Energía solar

Las bombas para el abastecimiento de agua, dependientes de la energía solar, que están siendo utilizadas en muchas partes del mundo, son caras en comparación a las instalaciones de bombeo manual y comparten con los molinos de viento la reputación de no ser totalmente seguras. La bomba de energía solar más habitual se basa en la tecnología de células fotovoltaicas junto a bombas eléctricas sumergibles. Gran parte de los gastos y desperfectos propios de esa tecnología se debe a que la corriente continua que generan las células fotovoltaicas por lo general debe ser almacenada en pilas y/o transformada en corriente alterna. Para ello se requieren células fotovoltaicas de gran tamaño que no sólo son frágiles sino que resultan blanco fácil de los actos de vandalismo (Argaw N. 1996).

En la actualidad se está probando en el terreno un nuevo tipo de bomba solar que es más económica y que aprovecha el calor de los rayos solares para desplazar un líquido que acciona una bomba de pistón sumergida, en lugar de emplear células fotovoltaicas. Los sistemas de bombeo accionados por energía solar suelen obtener mejores resultados en los ámbitos institucionales (escuelas, puestos sanitarios, etc.) donde se dispone de los recursos necesarios para que funcionen adecuadamente y reciban mantenimiento y protección.

### 3.1.2 Sistemas de bombeo manual

Dentro de los sistemas de bombeo de agua, podemos utilizar diferentes criterios a la hora de elaborar una clasificación. Se puede establecer un estudio considerando como parámetro de análisis la profundidad o altura de bombeo. También podríamos ordenar estos sistemas en función de las características de la población abastecida (economía, desarrollo tecnológico, geografía del terreno) o de la demanda de agua requerida (Grey D. 1984). Sin excluir todas estas posibilidades, vamos a considerar una clasificación centrada en los diferentes principios mecánicos que caracterizan las tecnologías de bombeo manual, que nos sirva además de introducción a un estudio técnico más exhaustivo que ha de estar centrado en situar al bombeo manual y que desarrollaremos más detalladamente en el siguiente punto de este capítulo. De esta manera podremos evaluar cuales van a ser las posibilidades de la bomba manual y dentro de que campos tecnológicos se encuentra.

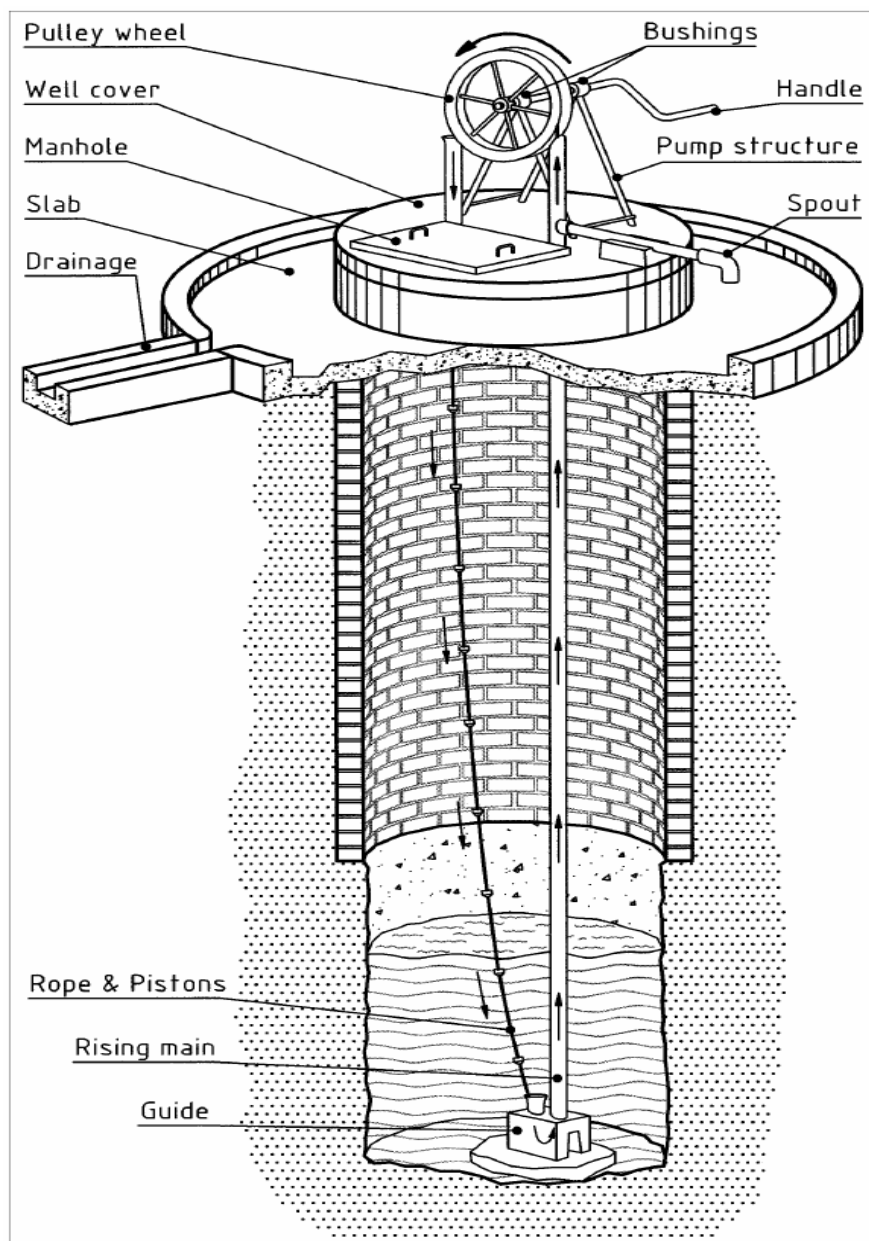
#### 3.1.2.1 Elevación directa

La elevación directa es sin duda la tecnología más antigua dentro del abastecimiento de agua y se emplea tanto en el bombeo de aguas superficiales como de aguas subterráneas. Dentro de este segundo campo, existen numerosos dispositivos que podríamos incluir, los más numerosos son los mecanismos de cuerda y cubo tradicionales basados en un pozo que accede hasta aguas subterráneas, y desde el cual se retira agua a través de la elevación de un cubo mediante una cuerda con o sin polea empleando la potencia humana o animal. Además encontramos otros métodos también ya tradicionales, como la noria de cangilones. Esta noria posee pequeños recipientes de metal fijados a una cadena sin fin vertical que gira en torno a poleas de modo que los cangilones se llenan en el fondo del pozo y suben para vaciarse en el surtidor después de pasar por la polea superior.

Dentro de estos mecanismos tradicionales merece la pena resaltar el uso de la noria de discos y su evolución en nuestros días hasta ser una de las bombas manuales con más proyección y posibilidades en amplias zonas del mundo menos desarrollado, sobre todo en América latina donde se la conoce como bomba de mecate. Esta bomba que podemos observar en la figura 3.1.1, está basada en la elevación de agua a través del empleo de un sistema de polea que actúa directamente sobre unos discos en una dirección que conduce el agua por medio de un tubo vertical parcialmente sumergido, por el que mecánicamente se eleva el agua retenida en los discos hasta el surtidor. La cuerda asciende por este tubo de subida, pasa por la polea motriz y baja libre hasta la fuente de agua. En la parte inferior se coloca una guía que facilita la entrada de la sogá. Al accionar la polea motriz los pistones

que ascienden por dentro de la tubería comienzan a empujar la columna de agua hacia arriba y a succionar por debajo. Existen numerosos modelos y variantes. Debido a su trascendencia y calado la analizaremos más profundamente en el capítulo 3.3.3.

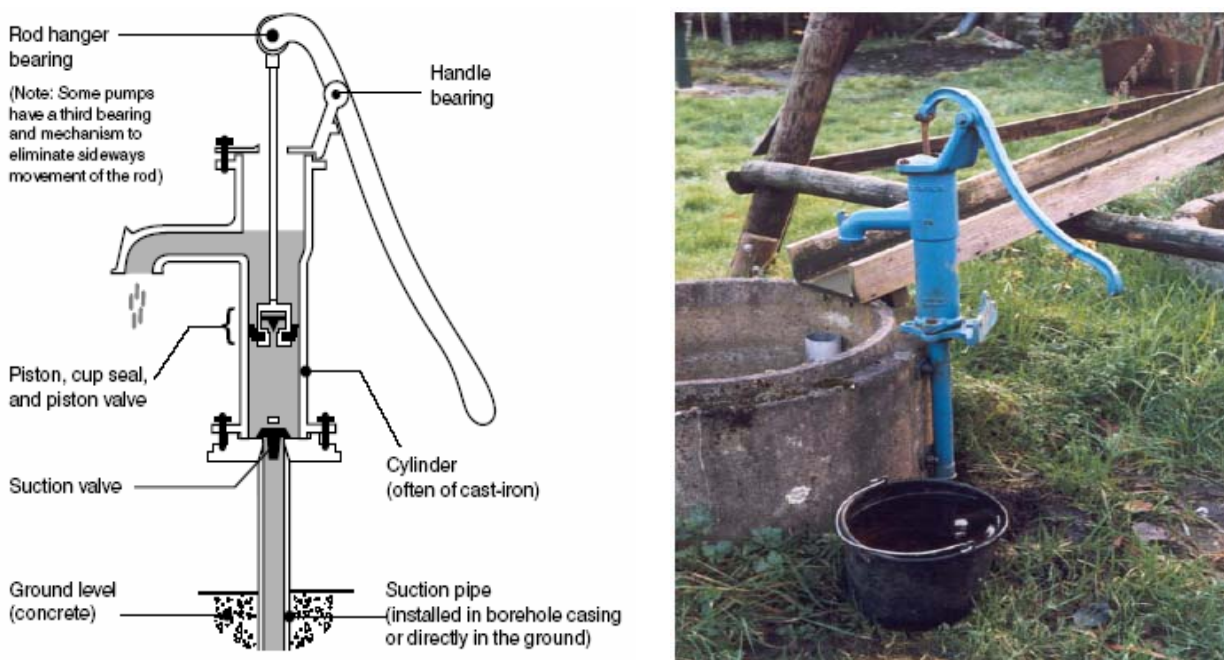
**Figura 3.1.1** La bomba de mecate



Todos estos sistemas basados en la elevación directa no solo pueden ser accionados de manera manual. En muchas ocasiones estos mecanismos se acompañan por un motor de gasolina, o eléctrico, o por un molino de viento que se encargan de accionar el sistema. En el capítulo siguiente aunque se comenten estas posibilidades, nos centraremos en el estudio de la parte de estos sistemas basados en el uso de la potencia humana, por los motivos antes citados de simplicidad de manejo y mantenimiento y la reducción de los costes de la instalación.

### 3.1.2.2 Desplazamiento

Este mecanismo está basado en el principio de incompresibilidad del agua, a partir de ahí se han desarrollado distintos tipos, siempre dentro del ámbito de las bombas volumétricas. Dentro del bombeo manual el que ha alcanzado una mayor evolución y diversificación, ha sido el basado en un émbolo o pistón dotado de una válvula que se desplaza verticalmente arriba y abajo característico en las bombas recíprocas tanto en las de succión, que observamos en la figura 3.1.2, como en las aspirantes para pozos profundos. Este tipo de bombas las estudiaremos en el apartado 3.3.2 y como hemos comentado constituyen sin duda tanto el modelo principal dentro de las bombas manuales tanto en cantidad como en variedad.



**Figura 3.1.2** Bomba manual de succión

Aparte de las bombas de pistón existen otras bombas manuales basadas en el mecanismo del desplazamiento. Las bombas de diafragma, que veremos en el apartado 3.3.4 están fundamentadas, en el movimiento de vaivén de una membrana elástica que facilita la entrada y salida del agua. También estudiaremos las bombas de cavidad progresiva, que emplean un mecanismo basado en un rotor helicoidal que se mueve dentro de un estator también helicoidal.

Como sucedía para las bombas basadas en la elevación directa, las bombas de desplazamiento que acabamos de reseñar pueden ser accionadas además, con mecanismos como molinos o motores. Nosotros centraremos nuestro estudio en las construidas para el empleo de la potencia humana. El mecanismo que emplea una elevación directa junto al que usa el desplazamiento constituyen la base de las tecnologías de las bombas manuales que están siendo revisadas en este informe, y por lo tanto será en la tercera parte de este capítulo 3.3, cuando entremos a detallar los mecanismos precisos de funcionamiento de cada modelo y a analizar su comportamiento tecnológico. De todas formas a continuación describiremos muy por encima otros mecanismos empleados dentro del bombeo de agua, con ello solo queremos introducir una comparación que nos sea útil en nuestro objetivo de situar la trascendencia de estas tecnologías en el ámbito rural de los países con menos recursos y mayores necesidades.

### **3.1.3 La bomba manual como mecanismo de desarrollo**

En la actualidad unos 1000 millones de personas según la SKAT fundamentan su abastecimiento de agua en el empleo de sistemas de bombeo manual. Esta realidad que marca la cotidianidad de gran parte de la población, sobre todo del mundo menos desarrollado, no es nueva. A lo largo de la historia de la humanidad el uso del bombeo manual ha sido muy importante, y después de lo comentado en los dos primeros capítulos de este estudio, pretendemos plantear la trascendencia que puede llegar a tener la utilización y el desarrollo de los sistemas de bombeo manual en un futuro próximo.

#### **3.1.3.1 Internacionalización de los proyectos de bombeo manual**

El origen de los dispositivos para elevar agua accionados por la energía humana se pierde en la antigüedad. Dentro de su variedad más tradicional encontraríamos desde los mecanismos de sogas y cubos tales como los llamados charsa, ramioko, delu o mota hasta los elevadores contrapesados o las canaletas articuladas, las ruedas de paletas, las escaleras hidráulicas, el tornillo de Arquímedes o la tradicional bomba de granja más característica de los países occidentales. Estos sistemas que siguen estando de plena actualidad en muchas partes del planeta y que requieren de la potencia humana para su funcionamiento se están pretendiendo adaptar o sustituir por otros que aseguren que las condiciones de agua para el consumo humano no sean dañinas para la salud. Dentro de esta evolución condicionada muchas veces por los organismos estatales o internacionales de salud ha logrado impulsar el acondicionamiento de estas fuentes. Como detallaremos en el punto siguiente han introducido sistemas de sellado al exterior para evitar la contaminación de agua de los pozos y diseños más fiables, más robustos y de fabricación más sencilla, basada en materiales más comunes.

Se está trabajando en combinar una educación dentro de los hábitos culturales que permita valorar a cada comunidad si está interesada en la introducción de estas modificaciones, con el planteamiento de tecnologías adecuadas, entendidas y desarrolladas desde una necesidad local que ha de estar facilitada a través de ese trasvase real de conocimientos desde las economías desarrolladas a aquellas que nunca han tenido opciones reales de serlo.



Por todo lo anterior y a consecuencia de las circunstancias que condicionan la realidad en estos países de poblaciones dispersas, donde la ausencia de electricidad o la escasez de recambios, junto con las dificultades que sus economías suelen atravesar ha justificado la evolución de los sistemas de abastecimiento manual que permiten minimizar estas limitaciones logrando al mismo tiempo la inclusión de medidas garantes de la salud. Es a partir de 1970 cuando con el impulso lanzado por los programas de asistencia técnica internacional se empieza a reactivar el estudio y la investigación relacionada con la potencialidad de las bombas manuales (Ball 1991).

A lo largo de estos años muchos de estos abastecimientos planteados con bombas de mano fueron deficientes o han sido del todo abandonados, debido a defectos de diseño, fabricación, instalación, operación y mantenimiento. Un mínimo fallo provocaba en muchas ocasiones la inutilización completa del pozo. A partir de ahí se impusieron criterios de diseño que fueran prácticos y que cumplieran las condiciones de operación preestablecidas, así como los requisitos sanitarios. Son necesarias bombas durables, libres de averías, baratas; cuya necesidad de mantenimiento pueda ser satisfecha dentro de las limitaciones de capacidad local; que sean fácilmente operables y aceptables por las usuarias, incluyendo niñas y que sean adecuadas para fabricación local, usando materiales, equipo y mano de obra local.

### 3.1.3.2 Evolución de la intervención de los organismos internacionales

En 1980, el PNUD y el Banco Mundial iniciaron un proyecto mundial e interregional de pruebas de laboratorio, ensayos sobre el terreno y desarrollo tecnológico de bombas de mano para el abastecimiento de agua a zonas rurales (Banco mundial 1993). Fomentaba activamente un nuevo concepto de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento en todo el mundo bajo el estandarte del Decenio del Agua, 1981-90. La ampliación del alcance de los servicios de abastecimiento de agua potable a las poblaciones rurales de bajos ingresos se convertiría en la actividad principal del Decenio. El propósito principal del proyecto de bombas de mano era ensayar las bombas en el laboratorio y sobre el terreno para determinar cuáles daban buen resultado y en qué condiciones. Éste era un proyecto puntero dentro de este enfoque, y fue en gran medida el responsable de la nueva importancia asignada a los programas de abastecimiento de agua a las zonas rurales y de las modalidades que comenzaron a adoptar.

Se consideraba que la clave de la transferencia en gran escala de la tecnología de bombas de mano a las autoridades e instituciones oficiales de ingeniería sanitaria era el diseño de una variedad de los modelos más avanzados de bombas de mano para diferentes condiciones de aguas subterráneas, la formulación de estrategias para la instalación y el mantenimiento de servicios basados en esos modelos y la promoción de su fabricación normalizada. Según cálculos de ese momento, se podía suministrar agua potable extrayéndola de pozos equipados con bombas de mano por 10\$ a 30\$ por cabeza, frente a 30\$ a 60\$ por cabeza en el caso de bombas motorizadas y tomas de agua, y de 60\$ a 100\$ en el caso de grifos de patio (Tschannerl 1984). Aunque la demanda de los consumidores variaba, pues dependía en gran parte del grado de escasez de agua y de la distancia hasta la fuente, los habitantes de las zonas rurales estaban mucho más interesados en disponer de agua que en disponer de saneamiento. En un país como la India, las elecciones locales de carácter político se podían ganar o perder sobre la base de promesas de abastecimiento de

agua. Podía haber cierta resistencia cultural a beber agua subterránea en lugar de agua de superficie, pero en la mayor parte de las zonas rurales de África y Asia, y sin duda en los lugares en que había escasez de agua, el agua obtenida mediante bombas de mano era perfectamente aceptable (Banco mundial 1993).

El proyecto comenzó asignando gran prioridad a la tecnología misma. Durante más de cinco años, llevó a cabo pruebas de laboratorio en el Reino Unido (en el laboratorio de ensayos e investigación de la Asociación de Consumidores) y ensayos sobre el terreno en 17 países para medir el rendimiento de más de 2.500 bombas de mano. En los ensayos estaban representados unos 70 modelos. Se incluyeron dos nuevos modelos de bombas de mano creados durante el proyecto y con apoyo de éste: el modelo Afridev, desarrollado en Kenya para pozos profundos, y el modelo Tara, una bomba de acción directa creada en Bangladesh para su utilización cuando la capa freática se hallaba justo por debajo del nivel de succión (Reynolds 1992).

Los intentos previos de crear bombas de mano apropiadas para servicios comunitarios de abastecimiento de agua habían partido de la premisa de que los antiguos modelos europeos se habían descompuesto porque no eran suficientemente resistentes para ser utilizados por todo un poblado, en lugar de una explotación agrícola o una unidad familiar. Diversas ONG habían empezado ya a intentar desarrollar una bomba resistente, de bajo costo y fácil de fabricar. En 1975, UNICEF se sumó a las tareas, trabajando estrechamente con diseñadores y fabricantes locales. UNICEF no pagó la investigación ni el desarrollo pero, a cambio, proporcionó conocimientos especializados de carácter técnico y coordinación entre los aliados. La participación de UNICEF supuso un incentivo añadido para los fabricantes, que se dieron cuenta de que compraría un buen número de las bombas manuales que resultasen de sus actividades de investigación y desarrollo.

Utilizando una bomba diseñada por un ingeniero sueco para el Servicio de Pozos de Sholapur como punto de partida, diseñadores y fabricantes locales desarrollaron la bomba manual Indian Mark II, o IMII. UNICEF utilizó su capacidad técnica y financiera para instalar rápidamente las bombas y supervisar su utilización en grandes experimentos sobre el terreno. El diseño de la bomba manual India Mark II se realizó en 1977 y la demanda pronto superó la capacidad de los fabricantes iniciales. Para 1984, cuando Mark II era la bomba manual de uso generalizado en todo el país, 36 firmas indias estaban fabricando la bomba y se habían instalado 600.000 unidades (Banco mundial/PNUD 1986). En 1998, había 3 millones de bombas en funcionamiento, y la bomba Mark II se exportaba a todo el mundo. El compromiso estricto con la calidad fue un factor decisivo en el éxito inicial tanto del programa nacional como de la exportación de bombas manuales indias. Durante más de quince años, UNICEF acordó y pagó las inspecciones previas a la entrega de todas las bombas manuales. También proporcionó apoyo técnico a los fabricantes, para mejorar las técnicas de producción y los sistemas de control de calidad internos. Este enfoque creó una concienciación sobre la necesidad de adquirir bombas manuales y piezas de repuesto de gran calidad y garantizó la supervisión del producto y el control eficaz de la calidad. A finales del decenio de 1980, en cooperación con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Proyecto de Bombas Manuales del Banco Mundial, se desarrolló y experimentó la bomba manual Mark III, o IMIII. En comparación con la Mark II, la Mark III tenía mayores costos de capital inicial pero, con el tiempo, sus gastos de funcionamiento y mantenimiento eran menores así como sus costos, que se esperaba que fuesen razonables (Reynolds 1992).

### 3.1.3.3 Desarrollo del concepto VLOM

Se llegó a una conclusión diferente. El criterio para considerar apropiada una bomba de mano había sido que su diseño debía hacerla apta para su funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado. Desde luego, la bomba debía ser capaz de resistir el deterioro causado por el uso; pero, lo que es aún más importante, debía estar diseñada y fabricada de forma tal que los pobladores debidamente adiestrados pudieran mantenerla y repararla, y actuar como administradores del servicio que proporcionaba. El modelo India Mark II, si bien era resistente, no estaba diseñado para funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado. Al igual que los sistemas convencionales de agua corriente, el mantenimiento y la reparación de las bombas de mano instaladas por las autoridades públicas casi siempre dependían de una acción central. Generalmente, grupos de mecánicos calificados que se desplazaban en vehículos desde la sede de distrito abarcaban una extensa zona en que había muchos cientos de bombas. Este era un sistema irremediablemente ineficiente; a veces un grupo cubría grandes distancias en un camión que transportaba equipo elevador para levantar una bomba pesada que necesitaba una pieza de repuesto que costaba uno o dos dólares. Habida cuenta de las distancias que debían recorrer, el tiempo que tardaban esos grupos en atender a los pedidos de reparación, incluso de poca monta, solía ser de varios meses. Una bomba resistente que rara vez se descomponía, pero que quedaba inutilizada durante meses cuando llegaba a descomponerse, proporcionaba un servicio menos fiable y menos eficaz en función de los costos que una bomba que se descomponía más a menudo, pero que se podía reparar rápidamente, en pocos días o pocas horas.

El concepto de funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado paso a denominarse a nivel internacional diseño VLOM y fue una importante contribución del proyecto de bombas de mano al establecimiento de un nuevo criterio aceptado respecto de los programas de abastecimiento de agua. Su inspiración era de carácter técnico: diseñar bombas y piezas de repuesto aptas para un mantenimiento descentralizado. Pero el avance conceptual principal era el de la participación de los usuarios en la adopción de decisiones relativas a los servicios, y en la administración de éstos. Posteriormente esta idea se extendió al modo de pensar acerca de los recursos hídricos en general. Si la propia comunidad ha de ser la principal responsable del mantenimiento y funcionamiento de sus bombas de mano, tendría que participar desde el primer momento en el suministro de servicios. En primer lugar, tendría que querer tener bombas de mano, y elegir de entre sus miembros a “administradores” o “encargados” de las bombas, a los cuales habría que familiarizar con las bombas e informar acerca de las necesidades de mantenimiento. De acuerdo al concepto de funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado VLOM, la comunidad debe reunir dinero para pagar la reparación y, en algunos casos, la reposición de las bombas; debe saber a quién contratar para manejar las bombas de mano y cuánto pagarles; también es necesario que disponga de piezas de repuesto y que tanto éstas como los servicios de reparación tengan precios que la comunidad estime accesibles.

Mirado de forma retrospectiva, se puede considerar que el concepto de funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado es el primero que se aparta de la idea de que el suministro de sistemas modernos de abastecimiento de agua es un derecho social fundamental justificado por razones de salud pública, proporcionado con cargo al erario público, idea sobre la cual se basaba hasta ese momento la mayor parte de los servicios de abastecimiento de agua en los países en desarrollo. El concepto de funcionamiento y

mantenimiento a nivel del poblado exigía que se estableciera un nuevo equilibrio entre las responsabilidades de las autoridades públicas y las de las unidades familiares y las comunidades. No sólo era necesario que la bomba de mano fuese “apropiada”, sino que el modelo de servicios conexos también lo fuera.

El concepto tenía, en parte, una base ideológica según la cual los pobladores podían y debían hacerse cargo de la administración de un servicio cuyo objeto era beneficiarlos. Desde este punto de vista, el concepto era democrático y “potenciador”, pues destronaba a los altos sacerdotes del agua y el saneamiento, los ingenieros, y dotaba a las comunidades de la capacidad de controlar sus propios asuntos relacionados con el agua. Desde el punto de vista contable, el concepto de funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado satisfacía la necesidad de economizar costos. Era un antídoto frente a los sistemas de reparación centralizados y derrochadores que no funcionaban, y un modo de alcanzar la viabilidad operacional y financiera.

Para que el concepto de funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado se convirtiera en una realidad a largo plazo, era necesario que se creara un mercado local de bombas, piezas de repuesto y conocimientos especializados. Era necesario que las bombas disponibles en el mercado, tanto local como de exportación, se ajustaran a los criterios relativos a la operación y el mantenimiento a nivel del poblado, y que los gobiernos de los países donantes y receptores entendieran la necesidad de especificar el uso de productos de ese tipo. Se alentó a los fabricantes de bombas de mano a que elaboraran modelos de bombas de funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado. Se ayudó además a varias empresas de países en desarrollo a empezar a fabricar bombas de mano y se promovió la normalización y el control de calidad en los distintos países. Los donantes comenzaron a evitar proporcionar a los países una amplia variedad de equipo de bombeo incompatible y a insistir en el uso de bombas de funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado.

Sin embargo, existían muy pocas bombas de mano de bajo costo, duraderas y resistentes a la corrosión para elevar agua a una profundidad mayor de 25 metros. La búsqueda de bombas mejoradas para todo tipo de condiciones de aguas subterráneas y sociales prosiguió. Las funciones de desarrollo tecnológico a partir de los noventa se transfirieron a organismos internacionales privados. Dentro de estos, las mayores competencias recayeron en el Instituto Suizo de Tecnología Apropiable (SKAT) en virtud de un acuerdo concertado con uno de los principales patrocinadores del Programa, el Departamento Suizo de Desarrollo y de Ayuda Humanitaria.

### **3.1.3.4 Actualidad y expectativas de las instalaciones de bombeo manual**

Aunque aún se sigue trabajando intensamente en el desarrollo de las bombas manuales, esas labores se concentran en la mejora o modificación de las bombas que ya existen y no en la “invención” de bombas manuales nuevas. Ya existen buenas bombas manuales para casi todas las aplicaciones, y todo esfuerzo por diseñar una “nueva” bomba manual para un proyecto o un país específico están desencaminados y resultan otros tantos ejemplos de despilfarro.

En los años venideros, la mayor parte de los esfuerzos que se realicen con respecto a las bombas manuales estarán relacionados con la puesta en práctica de una estructura

viable de gestión de mantenimiento y el fomento de la tipificación en los planos nacional o regional.

Aunque sería de desear que las bombas manuales se pudieran fabricar en los países donde se van a emplear, esto sólo es potencialmente factible en los países medianos y grandes que ya cuentan con una base manufacturera establecida y un mercado suficientemente grande. La experiencia demuestra que resulta más eficiente que los países menores adquieran las bombas manuales en el exterior, especialmente de otras naciones en desarrollo que cuenten con una prolongada experiencia en la fabricación de bombas manuales de dominio público (de los cuales la India resulta un ejemplo notable, ya que produce y exporta miles de bombas manuales India Mark II/III, Afridev y Tara a precios significativamente menores que los de todos los demás países del mundo).

En comparación con el ingente trabajo realizado en las décadas pasadas, en la actualidad, nos encontramos en un momento en el que es muy notable el descenso experimentado en la labor desempeñada por los organismos internacionales, organismos que se establecieron con el objetivo de promocionar el intercambio de conocimientos y experiencias técnicas y tecnológicas entre los distintos países. Para compensar se pretende impulsar desde estos mismos organismos la intervención de ONG. Sin embargo las ONG solo pueden en el mejor de los casos complementar el trabajo que se realice desde estas organizaciones junto a los gobiernos de cada estado. Es imprescindible, dada la situación actual, que se retome por todos los protagonistas la capacidad de trabajo desarrollada años atrás con el objetivo puesto en facilitar el acceso estable al agua para millones de personas.

### 3.1.4 Utilización de la bomba manual

A partir de aquí y una vez realizado un recorrido por la evolución de la bomba manual, es imprescindible analizar en qué punto se encuentra la capacidad de esta tecnología respecto a los factores sociales y políticos que la experiencia ha determinado como fundamentales a la hora de valorar su utilización y sus limitaciones. Dentro de estos parámetros incluiremos el papel que han de desempeñar los diferentes protagonistas que implementan el empleo de bombas manuales, tales como los gobiernos de los países en cuestión, las comunidades directamente afectadas, las empresas que gestionan la instalación y el mantenimiento o cuales son los criterios respecto a la estandarización, la localización, el afianzamiento del concepto VLOM, o los costes más adecuados.

#### 3.1.4.1 Autoridades estatales

El papel de los gobiernos, a través de su ministerio de infraestructuras ha tenido que evolucionar desde su planteamiento de proveedor del abastecimiento y saneamiento al de promotor, facilitador y coordinador en el desarrollo de esos sistemas (Carter R. 2002). A lo largo de muchos años el papel secundario que han desempeñado los gobiernos conformándose con la introducción de cualquier tecnología sin control ni estudio real de las capacidades de esa implantación ha limitado notablemente la evolución de las sociedades en su accesibilidad al agua. La administración estatal ha debido asumir su protagonismo a la hora de asignar responsabilidades tanto a las autoridades locales, como a las

comunidades, o a los agentes del sector privado (Bernage F. 2000). Para ello ha sido imprescindible:

- a) Plantear políticas nacionales respecto al nivel de servicios y la orientación estratégica
- b) Coordinar y administrar la adjudicación de los proyectos
- c) Guiar, supervisar y coordinar el trabajo de las ONG
- d) Mantener una base de documentación de todas las características hidrológicas del país
- e) Establecer guías y estándares acerca de las especificaciones, manuales, contratos y procedimientos de control dentro del país
- f) Promocionar programas educativos y de formación que incluyan diversos folletos, panfletos, carteles, vídeos y manuales en diferentes lenguas nacionales. respecto a los usuarios y el personal relacionado con la instalación De la misma manera se han promocionado programas que trasladen la trascendencia de la salud y su relación con la higiene.

### 3.1.4.2 Autoridades locales

A un nivel más local sólo se han conseguido asentar el empleo de las bombas manuales en zonas donde la administración respecto al poder estatal:

1. ha tenido la capacidad de trasladar sus necesidades
2. ha podido decidir de que manera se implementan los proyectos de abastecimiento
3. ha tenido en todo momento la posibilidad de introducir modificaciones en estos proyectos.

Las funciones más importantes de las autoridades locales han de centrarse en: la coordinación con las ONG y con las empresas privadas, el establecimiento de prioridades respecto a la intervención, la financiación, la información a la comunidad en ambas direcciones, tanto a la hora de conocer sus necesidades como al tiempo de comunicar las decisiones aceptadas, facilitar la relación entre las empresas instaladoras de tecnología y la comunidad, incluyendo la formación para el manejo de estas tecnologías y su mantenimiento, establecer mecanismos de evaluación y supervisión respecto a los proyectos implementados, y facilitar al fin y al cabo la promoción de estos servicios en la comunidad (Briscoe 1988).

### 3.1.4.3 Comunidad

La gestión comunitaria de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento ambiental es fundamental para lograr mejoras sostenibles. Se ha demostrado que sólo en aquellas situaciones en las que desde la comunidad ha surgido la decisión a la hora de instalar una bomba manual, sólo cuando ha surgido desde ahí la decisión respecto a su diseño, tecnología y localización, estos proyectos han podido llegar a tener éxito. Es imprescindible que los usuarios contribuyan a su construcción e instalación, aportando incluso los materiales que sea posible y estableciendo una relación de intercambio directo de conocimiento con la empresa o grupo que esté aportando la tecnología requerida.

A nivel comunitario la voluntad de la gente para aceptar nuevas responsabilidades y costos hará más probable que las comunidades gestionen sus sistemas hídricos y no dependan únicamente de la asistencia exterior. Además no bastará con recibir cursos acerca de la importancia en su salud del saneamiento será imprescindible que la gente reclame esas mejoras. Por más que dentro del hogar se disponga de agua potable, si el lavado de manos y otras prácticas no se siguen de forma habitual, los prometidos beneficios sanitarios no se hacen realidad. Las conductas relacionadas con el saneamiento son especialmente difíciles de entender y de cambiar.

Para ayudar a la gente a aprender y a adoptar nuevas ideas y conductas en relación con el agua y el saneamiento, los proyectos en materia de abastecimiento de agua y saneamiento ambiental deben capacitar a animadores locales para que visiten a familias. Si bien las visitas son fructíferas y ocupan un lugar en la estrategia general de cambio de conducta, el contacto interpersonal es costoso, lento y exige mucho trabajo (Boot 1984).

Los esfuerzos concertados para hacer participar a las comunidades en el programa de abastecimiento de agua y saneamiento ambiental deben modificar la inercia de consultas no obligatorias y dependientes en gran manera de la decisión del ingeniero asignado al proyecto. Además, las consultas, en general, excluyen a las mujeres, ignorando por lo tanto los puntos de vista de las principales usuarias del sistema (Curtis 1986). Los esfuerzos han de ir dirigidos a alentar a las comunidades a definir sus necesidades y tomar parte en la planificación, operación y mantenimiento de sus sistemas hídricos.

### 3.1.4.4 Localización

Con relación a lo anterior los criterios que a nivel empírico se han confirmado como fundamentales a la hora de descartar la ubicación de un equipo de bombeo manual de agua son (Darrow 1986):

- 1) regiones donde es necesario un sistema de almacenamiento y distribución (por ejemplo, en hospitales rurales), donde es viable desde el punto de vista económico (por ejemplo, en los vecindarios pobres de alta densidad demográfica), o donde la comunidad esté dispuesta a pagar los costos más elevados de inversión, operación y mantenimiento de tal sistema, y cuente con los medios para hacerlo;
- 2) regiones que cuentan con una fuente de energía relativamente económica y confiable (generalmente, la electricidad);
- 3) situaciones en las que se requiere un mayor rendimiento que el que ofrece una bomba manual (por ejemplo, en las comunidades con un solo pozo de sondeo que necesitan agua para otros fines, como abreviar el ganado o para el riego);
- 4) zonas donde la única agua disponible proviene de fuentes de aguas subterráneas a más de 90m de profundidad;
- 5) situaciones de emergencia (como el crecimiento veloz de los campamentos de refugiados);
- 6) regiones donde la única fuente de agua la constituyen las aguas de superficie.

### 3.1.4.5 Estandarización

El acceso del sector privado ha tenido que combinarse con una legislación clara que defina el nivel de estandarización mínimo a garantizar, sólo a través del fomento de la fabricación local con calidad y a precios razonables se ha logrado asentar el desarrollo en los proyectos de bombas de mano. Ha sido necesario que entre todas las partes se establezcan los diseños y las especificaciones técnicas que incluyan los procedimientos de producción y los requerimientos de calidad y control, intentando encontrar un equilibrio con los estándares internacionales. Esto ayudó a evitar distorsiones internas, ajustadas así por el mercado internacional (Wishart 1997).

En el pasado las situaciones en los países donde existían demasiados modelos favorecieron que el mantenimiento fuera inabarcable tanto a nivel de recambio de piezas como en la formación de técnicos o incluso usuarios. Era un mercado tan diversificado que no facilitaba el desarrollo de las empresas de manufactura ni aseguraba unos parámetros en las especificaciones técnicas que garantizasen la calidad de las piezas de las bombas.

La tipificación de las bombas manuales en el ámbito nacional requiere de los gobiernos y los donantes un compromiso firme y prolongado con el empleo de una bomba manual específica. Sin embargo, para eliminar posibles ambigüedades durante la adquisición, producción y control de calidad de la bomba manual, es necesario que se defina claramente y que se establezcan por escrito normas que cubran las especificaciones en cuanto a materiales, diseño, control de calidad, empaque, rendimiento y garantías. La adopción de normas sobre bombas manuales en un país es un logro importante, y resulta el paso final del proceso de selección de una bomba manual. La tipificación basada en el empleo de un tipo único de bomba manual en todo un país conlleva beneficios muy valiosos (Van Beers P. 2001). Entre ellos, reducir la variedad de repuestos y la capacitación requeridas, facilitar el control de los inventarios, reducir los costos de capacitación, prevenir la fragmentación de la demanda comercial y aumentar, por lo tanto, la viabilidad económica de la producción local, además de reducir los costos de las bombas manuales y sus repuestos.

La experiencia acumulada en los últimos dos decenios indica que varios países han obtenido inmensos beneficios de la estandarización con el uso de una sola bomba manual. Esa tipificación que se logró mediante la bomba manual India Mark II/III en la India y Nigeria, la Tara en Bangladesh, la Afridev en Pakistán y la Mark II en Sudán y Uganda, ha sido el factor individual más importante con respecto al carácter sostenible de los programas. El beneficio más obvio de la tipificación con bombas manuales de dominio público es la reducción de los precios de las bombas manuales. A principios del decenio de 1980, por ejemplo, la bomba India Mark II costaba 180 dólares, y en 1996 se podía adquirir por 98 dólares sin los tubos maestros ascendentes. El precio de la bomba manual Afridev había disminuido de más de 600 dólares a principios del decenio de 1980 a unos 250 en 1996.



### 3.1.4.6 Concepto VLOM

Las bombas manuales VLOM (OMPOS en español) como hemos introducido en el apartado 3.1.3.3, son aquellas de cuyo mantenimiento pueden encargarse las comunidades, empleando para ello recursos predominantemente locales (Colin J. 1999). De manera que el mantenimiento adecuado de cada bomba depende en mayor grado de cada comunidad —de sus aptitudes colectivas, sus recursos y su grado de movilización— que de las características de las bombas. Este concepto fue desarrollado entre 1980 y 1990 por el Banco Mundial. El planteamiento VLOM inicialmente consistió en bombas (Martín-Loeches M. 2005):

1. De fácil mantenimiento por un cuidador de la comunidad, que requiera mínimas habilidades y pocas herramientas.
2. Que se fabrique en el país, para asegurarse la disponibilidad de las piezas de repuesto.
3. Que sea robusta y segura, para las condiciones de uso.
4. Que sea económicamente rentable.

Más tarde se han añadido otros dos conceptos fundamentales:

1. La comunidad decide cuando instalar las bombas y quién las instalará.
2. La comunidad se hace cargo de pagar a los cuidadores o mecánicos locales.

Existen muchos ejemplos de bombas manuales a las que se da mantenimiento adecuado en el nivel comunitario de un país pero no de otro. Se ha comprobado fehacientemente, sin embargo, que algunas características técnicas comunes y generales reducen el grado de dificultad del mantenimiento de las bombas, y representan una contribución importante al éxito de los programas de mantenimiento descentralizado (Noppen 1996). Otro aspecto digno de mencionar de la simplificación técnica del mantenimiento es que en las sociedades donde las mujeres tienen menos experiencia técnica o mecánica que los hombres, se tiende a no brindarles capacitación como mecánicas de bombas manuales porque “es muy complicado”. Los procedimientos simplificados de mantenimiento representan una respuesta contundente a tal prejuicio. También en este caso debería hacerse notar que esas características técnicas no garantizan, por sí solas, el éxito de los programas de mantenimiento, ni son absolutamente necesarias en todos los casos.

### 3.1.4.7 Costes

A la hora de considerar como enfrentarse al financiamiento, como ya hemos comentado ha sido muy importante el planteamiento desarrollado en los últimos años favoreciendo que sea la comunidad que desarrolla el proyecto la que se encargue en parte de la financiación del mismo, siendo el estado o en su defecto de organismos internacionales los que acometan el resto, siempre y cuando busquen verdaderamente el apoyo al proyecto tal y como lo promueve la población. Respecto a la posibilidad de importar la tecnología de otros países, aunque sea en muchos casos lo más económico, es importante resaltar el valor añadido que ha conseguido impulsar la promoción del desarrollo de la fabricación de esta tecnología dentro del mismo estado. Se ha logrado al

tiempo abaratar futuros proyectos, garantizando el abastecimiento de recambios y el conocimiento real de la tecnología introducida.

Las bombas manuales de dominio público (como la Afridev, la India Mark II y Mark III, y la Tara, con sus respectivos nombres locales, como U2, etc.), que fueron el resultado de muchos años de esfuerzos concertados de donantes, gobiernos y fabricantes, han sido ampliamente aceptadas en muchos países, de manera que se cuenta con abundantes datos sobre su desempeño. Esos diseños se actualizan periódicamente y existen especificaciones detalladas de los productos. También es importante que cada modelo de bomba manual de dominio público sea fabricado por un cierto número de empresas en muchos países. Como resultado de la competencia, se obtienen precios más bajos y los pedidos se entregan más rápidamente. Por añadidura, cuando una empresa desea comenzar a fabricar estos modelos localmente no debe pagar regalías. A menos que existan razones de peso en contra, siempre es preferible escoger un diseño de bomba manual de dominio público que sea perfeccionado con regularidad mediante labores de investigación y desarrollo. Sin embargo, y de acuerdo con la situación de cada país, no se desalienta el uso de bombas de calidad reconocida, como la Vergnet y la Nira. Pero la decisión final se debe basar en una multitud de factores, incluido el que su precio esté al alcance de la comunidad. Como podemos comprobar en la tabla 3.1.3, la estandarización de todas estas bombas junto a su demanda global, ha favorecido el abaratamiento de las bombas manuales situándolas notablemente por debajo en lo que a costes se refiere, respecto a otros sistemas basados en el empleo de motores.

**Tabla 3.1.3** Comparación indicativa de los costos de las bombas (UNICEF 1999)

Tipo de bomba	Modelo	Precio
<b>Bomba manual</b>	Bomba de succión Nepal	0,3
	Bomba de mecate	0,7
	Tara	0,9
	Indian Mark II	1,0
	Nira	1,4
	Indian Mark III	1,3
	Afridev	1,4
	Mark II Extra Deep Well	1,7
	Volanta	10,0
<b>Bomba motorizadas</b>	Bomba eléctrica de chorro	2 a 10
	Ariete hidráulico	3 a 15
	Eléctrica sumergible	8 a 15
	Bomba de émbolo diesel	10 a 25
	Bomba de molino de viento	15 a 100
	Solar	50 a 175
El dato de referencia de 1.0 es la bomba manual India Mark II con columna montante de 30 m a 175 \$ en Bombay en 1996. Aunque los precios estén sujetos a cambios constantes, las relaciones indicativas permanecen más o menos iguales		

### 3.1.4.8 Sector privado

A raíz de las posibilidades generadas por la necesidad del abastecimiento de agua y la demanda de bombas de agua, es conveniente que las instituciones locales y estatales se hayan ocupado de fomentar pequeñas empresas locales que han permitido a través de pequeñas oficinas y talleres asegurar el mantenimiento, la reparación y el intercambio de piezas allá donde realmente se pretendía que se garantizara el éxito de un proyecto de bombas de agua. Esta tarea debe cubrir desde el impulso de una regulación adecuada, hasta la responsabilidad de asumir la coordinación, el monitoreo y la legislación (Consumers Association 1984).

Con el objetivo de garantizar el éxito en la implantación de esta tecnología la experiencia en los proyectos de instalación de bombas manuales han demostrado que es imprescindible que los suministradores (Idelovitch 1995):

- a) Mantengan un stock de todas las partes de la bomba en una sede al menos estatal.
- b) En cada región se debe procurar tener un stock de las piezas sensibles más importantes, de tal forma que se garantice el 80% de las averías o se puedan recibir en el plazo de menos de una semana desde la sede estatal.
- c) El área mecánica de cada compañía deberá encargarse de las revisiones anuales.
- d) Desde la administración es recomendable que exista una regulación de precios para las piezas de las bombas estandarizadas que se revisará anualmente en colaboración con los suministradores.

### 3.2 Estudio de la potencia humana aplicada al manejo de bombas manuales de agua

Hasta aquí hemos introducido la capacidad de actuación de la bomba manual, a través de su historia y evolución se ha comprobado su trascendencia y posibilidades. A partir de esto vamos a intentar delimitar los factores más técnicos de estos sistemas que condicionan su uso en la actualidad. Para ello comenzaremos estudiando otro de los factores de la ecuación (5) de la introducción, la potencia real que puede llegar a desarrollar una persona en una bomba manual,  $\dot{W}_{\text{bombeo}}$ , uno de los mayores condicionantes en el funcionamiento de estos dispositivos. Nuestro análisis pretende comprender la capacidad humana de esfuerzo en distintas condiciones de edad, sexo, temperatura, postura, etc. como manera de llegar a evaluar hasta qué punto las bombas que existen en la actualidad están adaptadas a este condicionante.

Revisaremos los distintos estudios realizados tanto por la disciplina de la fisiología que se encarga de su análisis, la ergometría, como la información que manejan los informes realizados por organismos internacionales a la hora de plantear, elaborar y evaluar sus proyectos. Comparando estos datos podremos llegar a comprobar realmente cual es la capacidad real de bombeo de las distintas bombas manuales y que especificaciones técnicas a la hora de su diseño pueden permitir a sus usuarios a desarrollar mayores potencias y con ello aumentar su capacidad de abastecimiento de agua.

Esta información nos será muy útil a la hora de considerar en el siguiente capítulo los caudales de agua que puede proporcionar los distintos sistemas de bombeo manual y poder llegar a plantear su dimensionamiento real a través del cálculo del tiempo empleado en el abastecimiento y poder así saber cual es su papel auténtico frente a otros sistemas de bombeo diferentes en este campo.

#### 3.2.1 Introducción al estudio del esfuerzo humano

Uno de los parámetros básicos en el diseño de una bomba manual es la potencia que un ser humano es capaz de desarrollar en el empleo de estos dispositivos. Esta potencia aplicada delimitará los niveles de abastecimiento de agua y será definitiva en el dimensionamiento de la instalación.

El estudio de la potencia que puede llegar a desarrollar una persona en función del tipo de esfuerzo que esté realizando, la edad que tenga, el mecanismo que esté gestionando, el sexo, la temperatura, la duración del ejercicio o la ergonomía en su diseño nos permitirá conocer en cada situación que sistema de bombeo manual es el más adecuado pudiendo valorar el tiempo que se empleará en el bombeo, y que cantidad de población se lograría abastecer realmente. El esfuerzo aplicado se verá condicionado por múltiples factores, siendo los más importantes:

- a) La economía de movimientos, individualmente diferente.
- b) Los factores constitucionales, la edad y el sexo.
- c) La condición física y psíquica, en dependencia del nivel de entrenamiento, las condiciones de vida y trabajo y la alimentación, entre otros.

- d) La temperatura del aire, la humedad, la presión atmosférica y otros factores atmosféricos y climatológicos.
- e) La hora y la época del año.
- f) El empleo de una manivela o pedal y la posición del cuerpo durante el esfuerzo.
- g) El número de revoluciones, la altura y la longitud de la manivela.

Esta condicionalidad del esfuerzo aplicado deberá tenerse en cuenta al considerar cualquier diseño o dimensionamiento de una instalación de bombeo manual, por ello un conocimiento lo más preciso posible de los efectos de estos factores sobre el esfuerzo aplicado, constituirá un requisito básico.

Para evaluar todos estos condicionantes comenzaremos sirviéndonos de la ergometría, rama de la fisiología centrada en el estudio del esfuerzo humano.

### 3.2.2 Estudios fisiológicos del esfuerzo humano: Ergometría

Ergometría significa literalmente medición del esfuerzo en griego clásico. En la ergometría, en oposición a otras pruebas funcionales, se mide el esfuerzo del cuerpo como observamos en la figura 3.2.1, de una manera exacta, en las magnitudes de esfuerzo usadas corrientemente a nivel internacional: W ó Kgm/seg.

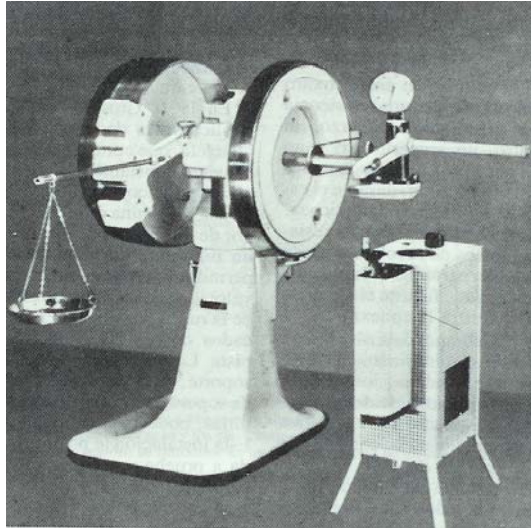
**Figura 3.2.1** Medición del esfuerzo en un ergómetro (Mellerowicz H. 1984)



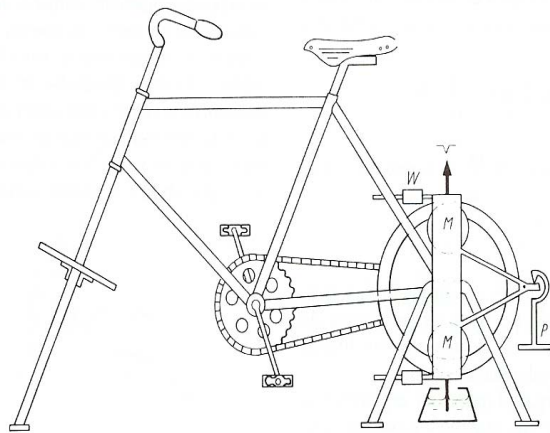
El esfuerzo medido ergométricamente puede compararse y reproducirse exactamente observando determinadas condiciones de esfuerzo definidas internacionalmente. El esfuerzo ergométrico puede hacerse en forma de ejercicio de manivela en posición de pie o de ejercicio de pedaleo en posición sentada o acostada. Para la medición de este esfuerzo se empleará un ergómetro.

Actualmente se producen varios ergómetros de apropiada utilización práctica. Existen de fricción, dinamoergómetros y los de corrientes parásitas como el de manivela y el de bicicleta que observamos en las figuras 3.2.2 y 3.2.3 respectivamente (Mellerowicz H. 1984). Un ergómetro deberá ser apropiado para el ejercicio de pedaleo en posición sentada y acostada y en lo posible, para el ejercicio de manivela en posición de pie.

**Figura 3.2.2** Ergómetro de manivela



**Figura 3.2.3** Ergómetro de bicicleta



En el ergómetro se incluirá además del aparato de medición del esfuerzo, un contador de revoluciones por minuto, un contador de giros para cada fase además de un medidor del tiempo de duración de todo el ejercicio. A través de la medición del número de latidos cardiacos por minuto y de la presión arterial en cada momento de la prueba y su contraste posterior, conoceremos cuales son los limites en la capacidad de potencia habitual de una persona, de tal forma que en el momento en que, el esfuerzo desarrollado en la actividad física implique que estos valores fisiológicos abandonan los intervalos razonables para el funcionamiento del organismo humano, conoceremos cuales son los limites razonables para esas condiciones, de la potencia aplicada por una persona. En cada medición del esfuerzo se medirá el esfuerzo físico total o parcial que se verá condicionado por innumerables factores orgánicos parciales como el corazón, el sistema circulatorio, los pulmones, la sangre, las glándulas endocrinas, el sistema vegetativo, el hígado, los riñones, el aparato locomotor y el sistema nervioso.

Mediante pruebas ergométricas se ha podido analizar el condicionamiento en el esfuerzo físico de todos los factores que hemos comentado al principio de este capítulo para un esfuerzo continuado. A continuación presentaremos los resultados de los estudios realizados para cada condicionante y como se ve afectada en su desarrollo la capacidad de potencia humana.

### 3.2.2.1 Relación del esfuerzo con la ergonomía del equipo

Las distintas características que conforman la ergonomía de un ergómetro, desde el número de revoluciones con el que trabajemos o la longitud de la manivela, la altura

seleccionada para esta o la economía de movimientos que requiera, pueden condicionar notablemente el desarrollo de la potencia aplicada por un ser humano. Para cada esfuerzo ergométrico existen valores óptimos del número de revoluciones, la longitud y la altura de la manivela. El problema de los valores óptimos de economía es complejo ya que también ha de considerarse sus relaciones con la constitución, el sexo, la edad e innumerables influencias endógenas. Aún todo es a través de múltiples estudios se ha concluido:

- a) El número óptimo de revoluciones aumenta según la magnitud del esfuerzo.
- b) En esfuerzos de 50 a 100W, la longitud óptima de la manivela de un mecanismo similar al de la figura 3.2.2, para una mano estará entre los 30 y los 35cm.
- c) La influencia de la altura de la manivela durante el esfuerzo y el descanso con un esfuerzo promedio de 100W variando la altura de la manivela entre 80 y 120cm es relativamente pequeña.
- d) En el ejercicio de pedaleo, la altura del asiento debe ser regulable de tal manera que el pie que descansa sobre el pedal, con la pierna extendida, forme un ángulo de 90 a 120 grados con la pierna.
- e) El consumo de O<sub>2</sub> en una persona en el proceso de desarrollo de potencia, en la posición de pie haciendo el esfuerzo con los brazos principalmente es en un 21% mayor que el realizado a través de las piernas pedaleando. De esta manera se comprende que siempre que se plantee un sistema de pedaleo se podrá aumentar la potencia desarrollable frente a un sistema manual de manivela.

#### 3.2.2.2 Relación entre esfuerzo y condicionantes exteriores

Temperaturas elevadas, pero sobre todo una humedad ambiente elevada por encima de las zonas agradables conducen a un esfuerzo adicional del organismo durante el esfuerzo ergométrico en dependencia de la magnitud del movimiento del aire. Durante el esfuerzo, el organismo produce cantidades considerables de calor propio. En dependencia de la magnitud del esfuerzo, éstas pueden alcanzar valores de diez a veinte veces superiores al metabolismo basal. Estas grandes cantidades de calor por esfuerzo conducen a un aumento de la temperatura interna a pesar de las medidas intensas del organismo por regularla. En dependencia de los valores constitucionales este calor aumenta en general en la medida en que el esfuerzo es mayor y de mayor duración.

Con toda seguridad las zonas agradables de temperatura, de humedad ambiente y de movimiento de aire para la persona en descanso, se diferencian notablemente de los valores fisiológicos óptimos durante los esfuerzos de diversa magnitud y duración. En este sentido, concuerda con la tradicional experiencia deportiva de que las temperaturas bajas (menores a los 20°) favorecen la práctica de esfuerzos continuos, mientras que las temperaturas elevadas, por el contrario, benefician los esfuerzos de elasticidad.

#### 3.2.2.3 Relación del esfuerzo con las características corporales

Dentro de la capacidad de esfuerzo físico será imprescindible analizar los condicionantes marcados por las características corporales tales como el sexo, la edad, el estado físico o el peso.



### 3.2.2.3.1 Sexo

La capacidad de esfuerzo físico de las mujeres, tanto en los esfuerzos cortos, medios como continuos, es absolutamente y relativamente (en relación con el peso en Kg del cuerpo) mucho menor que la de los hombres. Los resultados de diversos autores sobre la constitución física, la fuerza muscular, el esqueleto, la sangre, el sistema circulatorio, la respiración, los sistemas hormonal y nerviosos y de los distintos tipos de esfuerzos se muestran en la tabla 3.2.1. Vemos que en general se verifica que la capacidad de esfuerzo para mujeres adultas tanto en un periodo prolongado como en el medio o en el corto es del orden de entre el 60 y el 80 % del de los hombres. Esto se podría explicar a través de la inferior capacidad pulmonar, muscular o su menor capacidad de esfuerzo cardiaco máximo como también se comprueba en el cuadro.

**Tabla 3.2.1** Exposición comparativa de factores constitucionales y funciones de esfuerzo en mujeres y hombres (Mellerowicz H. 1984)

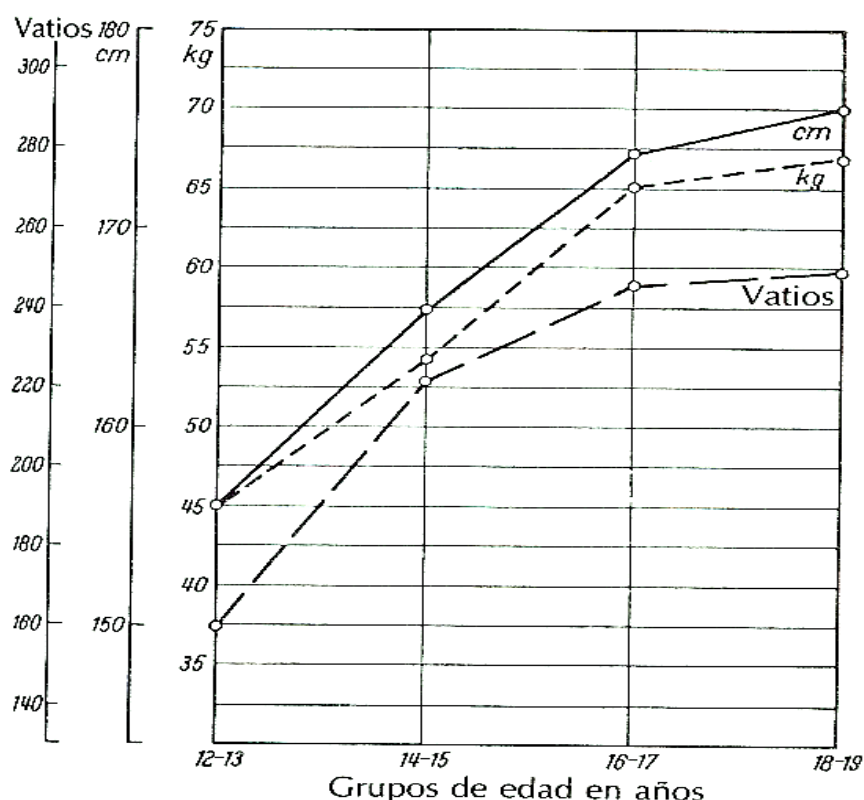
	Mujeres	Hombres
<b>Constitución física:</b>	Menos tamaño y peso Pelvis más ancha y pesada Torso relativamente más largo Más tejido graso subcutáneo Menos peso específico	Más tamaño y peso Hombros más anchos Extremidades más largas Menos tejido graso subcutáneo Más peso específico
<b>Musculatura:</b>	≈30-35% del peso del cuerpo Relación peso-fuerza desfavorable	≈40% del peso del cuerpo Relación peso-fuerza favorable
<b>Esqueleto:</b>	Menos peso absoluto y relativo del esqueleto	Más peso absoluto y relativo del esqueleto
<b>Sangre:</b>		
Volumen sanguíneo	Menor en términos absolutos	≈ 5 l
Hemoglobina	≈13-14 g/100 cm	≈15-16 g/100 ml
Eritrocitos	Número menor	≈4,5-5 millones/mm <sup>3</sup>
<b>Corazón-Sistema circulatorio:</b>		
Volumen cardíaco	absoluto ≈ 65-75% rel. (por kg) más de ≈65-75%	≈800 ml
Peso del corazón	absoluto ≈65-75% rel. (por kg) más de ≈65-75%	≈300 mg
Esfuerzo cardíaco máximo	probablemente ≈65-75% rel. (por kg) más de ≈65-75%	100%
<b>Respiración:</b>		
Capacidad vital	absoluta ≈70% rel. (por kg) ≈80-85%	≈4.000-4.500 ml
Consumo de oxígeno	absoluta ≈70% rel. (por kg) ≈80-85%	≈3.000 ml ≈50 ml/kg
<b>Sistema hormonal</b>	El ciclo menstrual puede influir sobre los esfuerzos	
<b>Sistema nervioso y psiquis</b>	Diferencias del sistema locomotor y de la actitud hacia el esfuerzo	
<b>Esfuerzos:</b>	<i>absoluto</i> <i>rel. (por kg)</i> <i>Récord</i>	
Esfuerzos prolongados, > 6 min	≈60-80%      más de ≈60-80%	≈90%      100%
Esfuerzos medios 1-6 min	≈60-80%      más de ≈60-80%	≈90%      100%
Esfuerzos breves < 1 min	≈50-80%      más de ≈50-80%	≈90%      100%
Fuerza	≈60-80%      más de ≈60-80%	100%



### 3.2.2.3.2 Edad

Los estudios acerca de la capacidad de esfuerzo físico de los jóvenes, indican un aumento medio casi proporcional con el peso, de la capacidad máxima de esfuerzo y descanso en estado estable de niños y jóvenes, de sexo femenino y masculino, entre los 6 y los 18 años como observamos en el gráfico 3.2.1 Las niñas pequeñas, hasta los 9 o los 10 años de edad, están relativamente (por Kg de peso) tan capacitadas para el esfuerzo como los niños. Sin embargo, su capacidad absoluta de esfuerzo, en esfuerzos de corta y larga duración, es algo menor. A partir de los 13 o 14 años, aproximadamente, aumentan incesantemente las diferencias por sexo de la capacidad relativa, y aún más de la absoluta, de esfuerzo físico hasta los 18 o 19 años de edad.

**Gráfico 3.2.1** Esfuerzo máximo de tres minutos en un ergómetro de manivela en 160 jóvenes, de sexo masculino entre los 12 y los 19 años de edad (Mellerowicz H. 1984).



Según las experiencias existentes, los mayores esfuerzos de fuerza y elasticidad se obtienen, en general, entre los 20 y los 30 años de edad, aproximadamente, mientras que los esfuerzos máximos de larga duración se alcanzan entre los 30 y los 40 años de edad. A partir de esta edad, se produce un descenso continuo de la capacidad de esfuerzo. En dependencia de la constitución física heredada, del modo de vida y de las influencias exógenas, existen, sin embargo, diferencias individuales considerables. Así pues como consecuencia del proceso de envejecimiento la amplitud de esfuerzo en investigaciones ergométricas alcanza en el periodo entre los 20 y 30 años de edad su apogeo, reduciéndose a partir de ahí con el proceso de envejecimiento, como comprobamos en la tabla 3.2.2 siguiente.

**Tabla 3.2.2** Reducción porcentual con la edad en la potencia desarrollable por una persona

20-30 años	100%
30-40 años	80-90%
40-50 años	75-80%
50-60 años	70%
60-70 años	60%

Con la misma edad de calendario varía considerablemente la edad biológica. Especialmente a través del entrenamiento y de una sana conducción de la vida se puede mantener una elevada amplitud de esfuerzo durante un tiempo mayor.

### **3.2.2.3.3 Estado físico**

Todo esfuerzo depende considerablemente del estado de entrenamiento del organismo. Este deberá tenerse en cuenta al enjuiciar cualquier medición de esfuerzo ergométrico. Toda disminución de la capacidad de esfuerzo puede estar condicionada, en mayor o menor medida, por una marcada pérdida de entrenamiento. Se puede lograr un aumento especial del esfuerzo a través de una rutina de fuerza, elasticidad, constancia y coordinación. Los hábitos de constancia influyen especialmente en el aumento de los esfuerzos ergométricos máximos en estado estable. Un hábito especial como por ejemplo el empleo diario de una bomba manual, aumenta considerablemente la capacidad de esfuerzo en el ejercicio ergométrico correspondiente.

### **3.2.2.3.4 Peso**

Las mediciones de esfuerzo ergométrico en niveles de esfuerzo máximo pueden llevarse a cabo con iguales esfuerzos absolutos o con iguales esfuerzos relativos de 1, 2 o 3 W por Kg de peso. Ambas posibilidades son utilizables metódicamente. Sin embargo, en las investigaciones comparativas, la utilización de iguales esfuerzos máximos en individuos muy pequeños y de poco peso y grandes y de mucho peso, así como especialmente en niños y jóvenes que se encuentran en diferentes fases de desarrollo, no es del todo satisfactoria. Un esfuerzo igual absoluto de 100W para una persona de 50 Kg de peso es un esfuerzo relativamente mucho mayor que para una persona de la misma edad, pero con 80 Kg de peso.

Según las investigaciones existentes, en las personas sanas existe una elevada correlación de la amplitudes de esfuerzo ergométrico, del consumo máximo de O<sub>2</sub>, y de la frecuencia cardíaca, durante el esfuerzo, con el peso del cuerpo. Otros factores condicionantes que deberán tenerse en cuenta, son la constitución física, la edad y el sexo. En la mayoría de los deportes y formas de trabajo, debe considerarse el propio peso del cuerpo. La relación carga-fuerza y la relación esfuerzo cardíaco-peso del cuerpo, es esencial para el esfuerzo máximo. Por estas razones, en las investigaciones ergométricas comparativas en niveles de esfuerzo máximo, en especial en niños y jóvenes, así como también de personas de poco peso (50 Kg) y de mucho peso (hasta 100 Kg) es apropiado el esfuerzo igual relativo relacionado con el peso del cuerpo.

Por todo lo anterior, en los estudios ergométricos encontramos a través de distintos estudios realizados en diferentes grupos de usuarios que en el empleo de manivela, situada a un metro de altura, en condiciones óptimas de temperatura, humedad relativa, y con un número correspondiente de rpm, el esfuerzo medio relativo estará en torno a:

**Capacidad de esfuerzo físico de larga duración en hombres.....2 W/Kg. (20-30años)**  
**Capacidad de esfuerzo físico de larga duración en mujeres.....1,5W/Kg. (20-30años)**

En bicicleta en posición sentada, en condiciones óptimas de temperatura, humedad relativa, y con un número adecuado de rpm, el esfuerzo relativo estará en torno a:

**Capacidad de esfuerzo físico de larga duración en hombres....2, 67 W/Kg. (20-30años)**  
**Capacidad de esfuerzo físico de larga duración en mujeres.....2 W/Kg. (20-30años)**

Estas capacidades de esfuerzo serán por tanto valores máximos, en el caso de tratarse situaciones o usuarios que no estén en esa franja de edad, o en condiciones óptimas de temperatura o humedad relativa, o de que no se emplee un mecanismo que no sea todo lo ergonómico que lo valorado por la ergometría, habrá que introducir las correcciones comentadas en los apartados anteriores.

Es evidente que estas cantidades, y las restricciones indicadas solo nos servirán de referencia en el cálculo de la potencia real que se puede desarrollar en el empleo de un sistema de bombeo manual. Por supuesto habrá que considerar múltiples condicionantes a la hora de considerar estos valores como aplicables en el estudio acerca del empleo de bombas manuales de agua, debido a las excepcionalidades que marcan a la población usuaria, desde las distancias que muchas veces han de completar antes de llegar al abastecimiento, hasta los condicionantes planteados por una alimentación muchas veces insuficiente y las condiciones atmosféricas de temperatura y humedad casi siempre perjudiciales para esfuerzos continuos característicos de las poblaciones en el ámbito rural dentro de los países menos desarrollados.

#### **3.2.3 Valoración del esfuerzo humano en las instalaciones actuales de bombeo manual**

Tanto a la hora de estudiar la capacidad de abastecimiento de un sistema de bombeo manual como en el momento de considerar el propio diseño de la instalación, los distintos organismos que elaboran informes al respecto del uso de estos sistemas suelen tomar todos, los mismos parámetros para especificar con que potencia de trabajo cuentan los equipos. Desde que el banco mundial desarrollara su estudio a nivel mundial de bombas manuales y elaborara una serie de informes al respecto, se ha venido recogiendo en todos los proyectos posteriores muchas de las conclusiones adoptadas en esas investigaciones, ya no solo en los estudios de potencia aplicada a los sistemas sino en casi todos los campos de análisis.

En estos informes que arrancan en 1982 se considera el estudio de cerca de 50 bombas manuales de agua en laboratorio, en el dimensionamiento de la instalación y en las pruebas se plantea un intervalo de potencia comprendido entre los 50W para sistemas de poca profundidad, pudiendo alcanzar el esfuerzo humano hasta unos 150W en pozos de mayores profundidades que precisan de una mayor potencia para alcanzar los mismos niveles de descarga que en los más cercanos a la superficie. Recogemos las potencias con las que se trabaja en los distintos informes en la tabla 3.2.3. En la parte derecha de la tabla se detalla el lugar de desarrollo de la bomba o el nombre con la que se la reconoce mientras que en el centro a través de elegir una misma altura de bombeo para todas las bombas podemos comprobar como cada equipo de bombeo exige niveles de esfuerzo o potencia diferentes. Estos equipos están diseñados para diferentes condiciones de profundidad y de caudal por lo que al imponer una altura de bombeo las bombas proyectadas para regímenes distintos presentan exigencias de potencia mayores.

**Tabla 3.2.3** Potencia demandada en el empleo habitual de diferentes bombas manuales

Bomba	Profundidad (m)	Potencia (W)
Canada	25	66
India	25	92
Cote d'ivoire	25	129
Germany	25	80
Sri Lanka	25	134
Thailand	25	106
United Kindom	25	130
Finland (nira)	25	163
Austria	25	177

En la mayoría de estos informes que hemos comentado, la investigación está más centrada en un estudio de la tecnología y del comportamiento de estos sistemas ante distintos niveles de uso y en distintos regímenes de potencia. A raíz de ahí en los estudios realizados tanto por organismos relacionados con el banco mundial como el RSSP o con las naciones unidas desde la OMS a UNICEF, se ha adoptado casi siempre la misma orientación en las publicaciones y en las investigaciones relacionadas.

También las distintas organizaciones no gubernamentales han apostado por referenciar la mayoría de sus cálculos de capacidad de abastecimiento de una bomba introduciendo una potencia de 75W, sin hacer especificaciones respecto al tipo de población usuaria, ni a su edad, sexo, ubicación respecto al domicilio, y las demás características que, como hemos comentado en el apartado anterior, se muestran definitivas a la hora de la realización de esfuerzos físicos como el empleado en el uso de una bomba manual.

Aún así existen algunos autores que se han preocupado un poco más en estas especificaciones. Como se recoge en la tabla 3.2.4 realizada por (Fraenkel 1998) se ha tratado de explicar como evoluciona el esfuerzo humano cuando realiza labores continuadas y como eso condiciona el abastecimiento de agua y por tanto el diseño de una bomba manual. También se ha demostrado la trascendencia de una mayor precisión en la potencia introducida con el objetivo de precisar los cálculos del caudal con que puede abastecer una bomba manual, y de valorar con mayor exactitud los rendimientos del sistema.

**Tabla 3.2.4** Potencia desarrollada por una persona (W) a lo largo de esfuerzos continuados por diferentes espacios de tiempo y con referencia a su edad (Fraenkel 1997).

Age	Human power by duration of effort (Watts)					
Years	5 min.	10 min.	15 min	30 min	60min	180 min
20	220	210	200	180	160	90
35	210	200	180	160	135	75
60	180	160	150	130	110	60

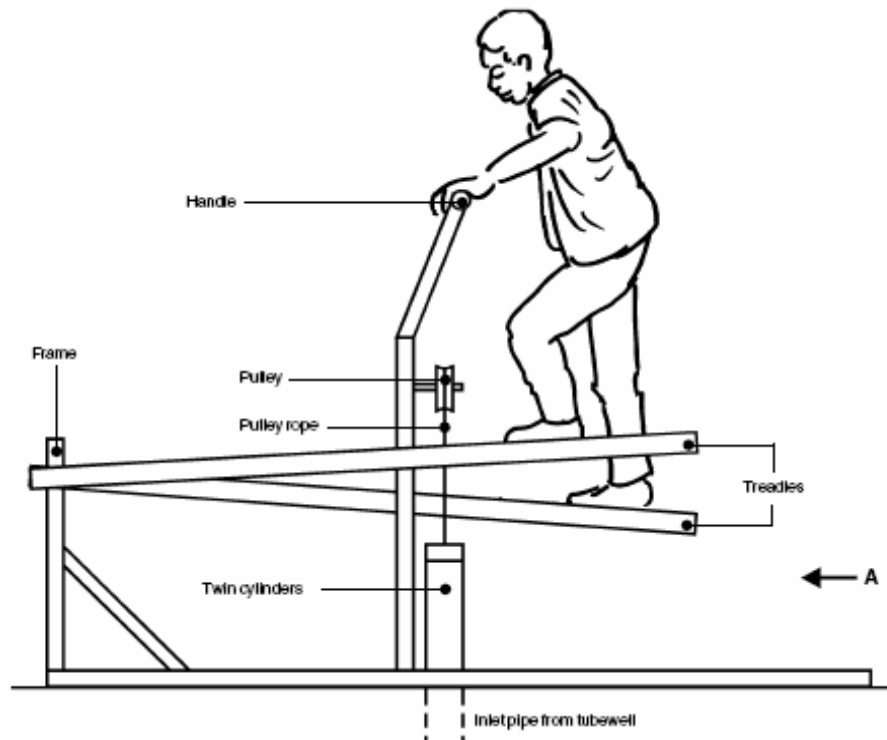
Por otro lado, el uso de las piernas es mucho más adecuado que el de los brazos. Esto queda claramente demostrado en los estudios que contrastan la capacidad de abastecimiento de los sistemas manuales basados en el empleo de la manivela manual frente a los que emplean mecanismos fundamentados en la potencia de las piernas. Estos segundos se demuestran claramente superiores ya que para mecanismos similares y eficiencias parecidas permiten el desarrollo de mayores esfuerzos y por tanto son capaces de bombear caudales de agua superiores al resto. Como ejemplo de esto podemos citar todos los estudios realizados en el empleo de la bomba de mecate adaptada que se muestra en la figura 3.2.4, este sistema permite el desarrollo de una potencia por parte de sus usuarias que puede alcanzar los 150 W frente a los 75W que presentan los sistemas de manivela.

**Figura 3.2.4** La bicibomba de mecate (CITA 2001)



Aparte de estos dos sistemas de introducir potencia en las bombas manuales existen modelos intermedios que combinan el empleo de los brazos y el de las piernas, sería el caso de la bomba treadle que vemos en la figura 3.2.5 que se situarían a medio camino de los anteriores. En esta bomba se emplea el peso del cuerpo para realizar una especie de pedaleo permitiendo un movimiento más natural para el cuerpo humano que los anteriores, por lo que es más adecuado para usos intensivos, como la irrigación.

**Figura 3.2.5** La bomba Treadle

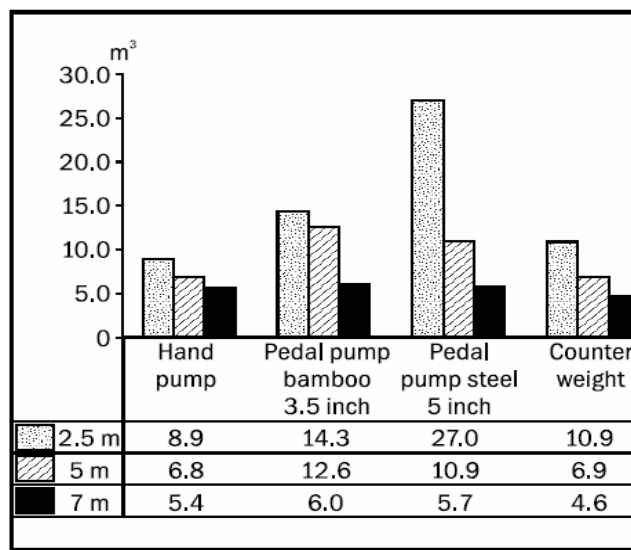
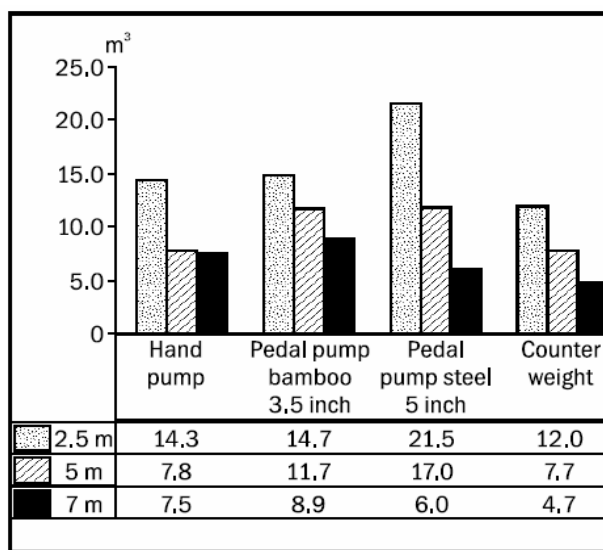


Como hemos comentado los informes y proyectos centrados en el abastecimiento de agua suelen centrarse básicamente en el funcionamiento de la máquina olvidándose muchas veces de introducir una tipificación del uso de la bomba para distintas usuarias y por tanto distintas potencias introducidas. En cambio suelen organizar los cálculos acerca de la capacidad de abastecimiento de agua en relación a los caudales de agua implementados a través de un patrón de potencia fijo, que en la mayoría de los casos esta centrado en los 75W que se ven posteriormente recortados por una eficiencia relativa en cada bomba. Aún así, también en esta forma de actuación se pueden introducir algunas de las matizaciones que facilita la ergometría. En las gráficas 3.2.2 y 3.2.3 observamos cómo para los mismos equipos de bombeo y profundidades, el agua recogida depende claramente del sexo y de la edad de la persona que la emplee y del tiempo que necesite para abastecerse reduciéndose la cantidad retirada notablemente cuando el esfuerzo se alarga por periodos largos. En el gráfico 3.2.4 se presentan gráficamente los gráficos del gráfico 3.2.3. Esto nos permite comprobar las diferencias existentes a la hora de valorar las distintas capacidades de esfuerzo y cómo eso repercute en el uso de las bombas y por tanto de las cantidades de agua recogidas. De nuevo queda evidenciado que los mecanismos de pedal permiten desarrollar mayores potencias que estarán condicionadas tanto por el sexo del usuario en cuestión como por su edad tal y como se observa en el gráfico.

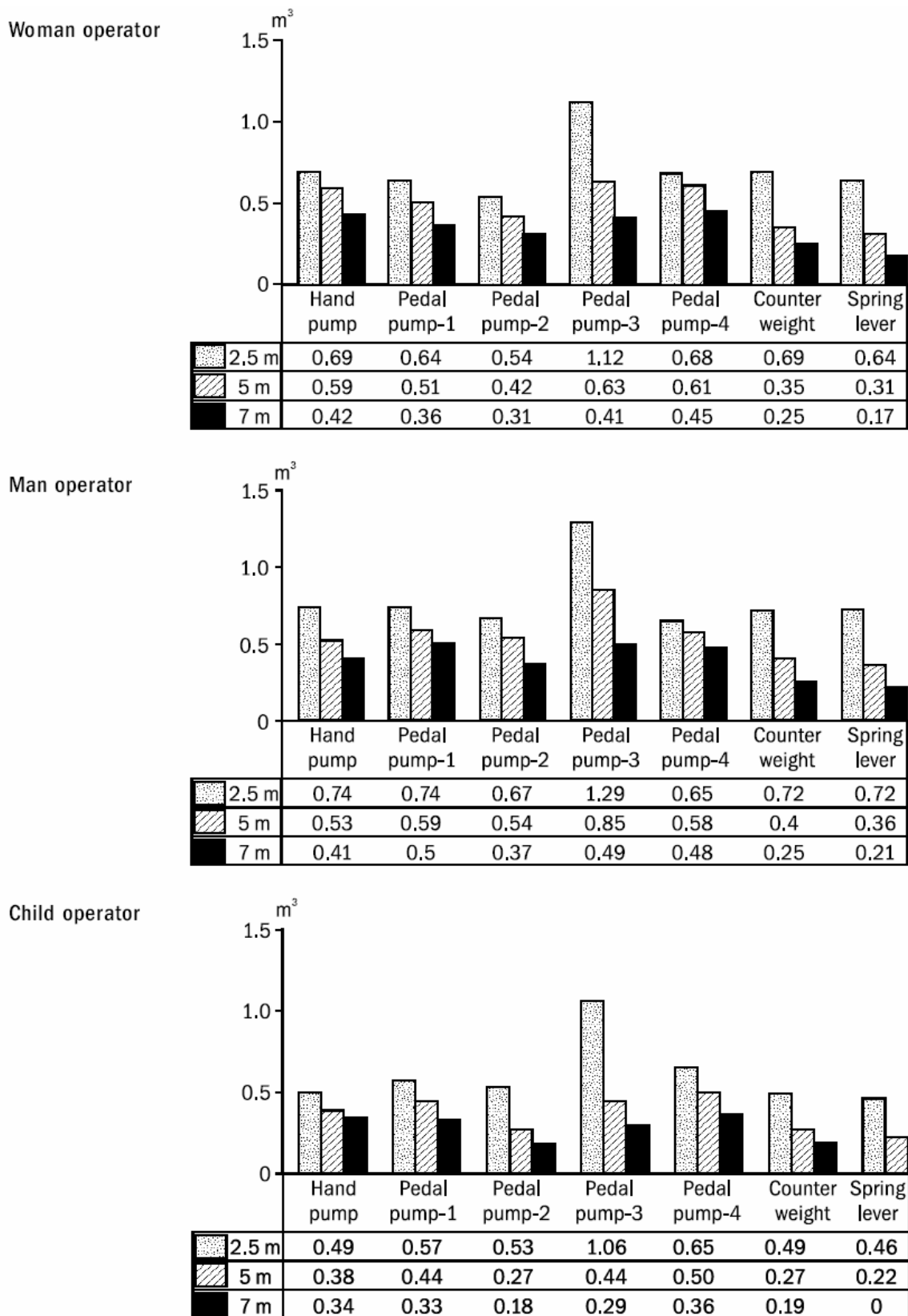
**Tabla 3.2.5** Parámetros empleados en las gráficas siguientes 3.2.2 y 3.2.3

Variable	Type	Specifications	1 hour	8 hours
Pump	Hand pump	Cast-iron lever-type (mark 6)	✓	✓
	Pedal pump	(1) Steel pedal, 3.5 inch diameter, 9 inch cylinder	✓	
		(2) Bamboo pedal, 3.5 inch diameter, 12 inch cylinder	✓	✓
		(3) Steel pedal, 5 inch diameter, 9 inch cylinder	✓	
		(4) Bamboo pedal, 3.5 inch diameter, 14 inch cylinder	✓	✓
	Bucket pump	Bamboo spring lever	✓	✓
		Bamboo counter weight	✓	
Depth	2.5 metres	—	✓	✓
	5 metres	—	✓	✓
	7 metres	—	✓	✓
Test person	Man	52 kg	✓	
	Woman	42 kg	✓	✓
	Child	34 kg	✓	✓

**Gráfico 3.2.2** Caudal de agua bombeado por una mujer (izquierda) en una hora (m<sup>3</sup>/h) y por un niño (derecha) en una hora (m<sup>3</sup>/h) para distintos sistemas de bombeo y a diferentes profundidades.

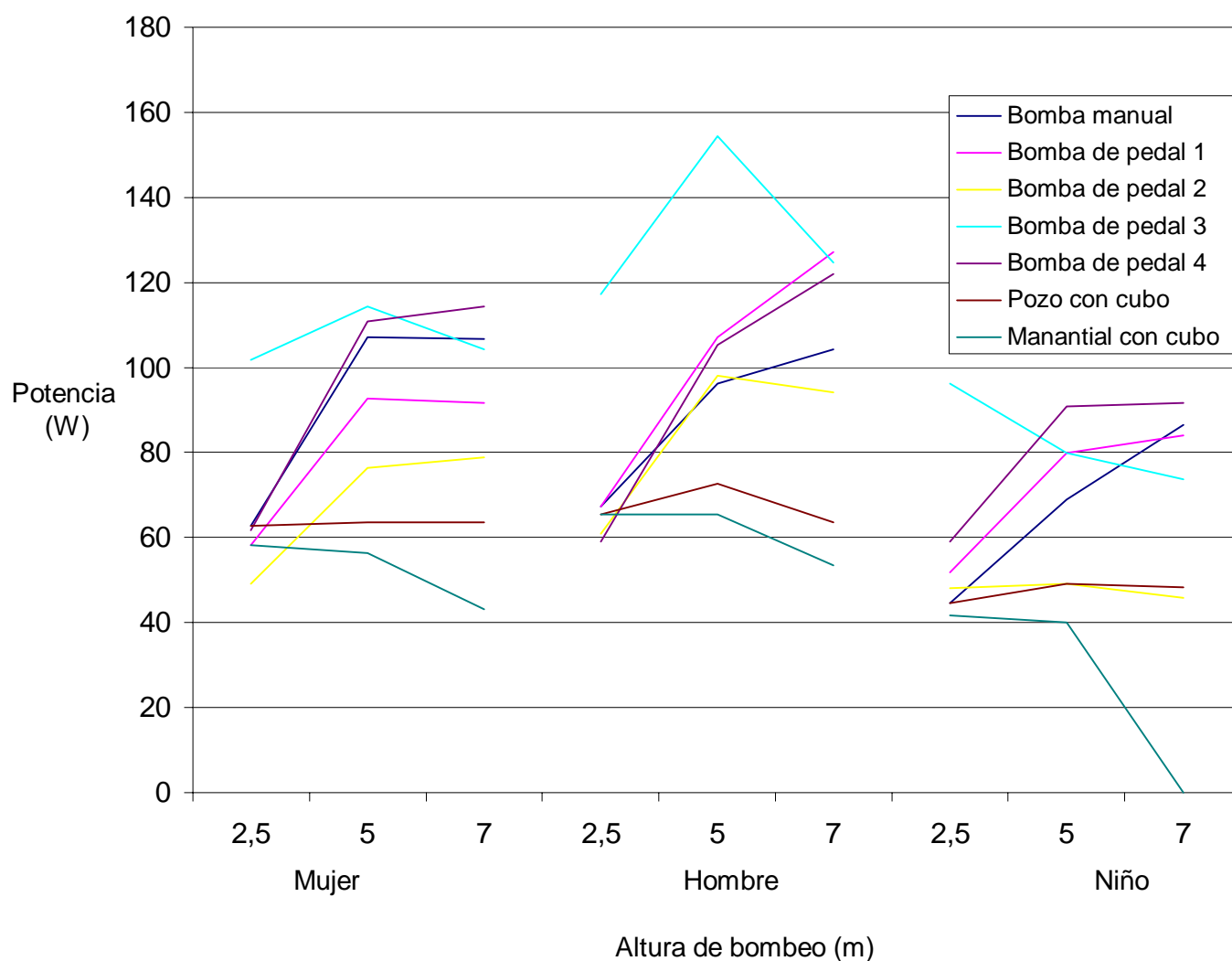


**Gráfico 3.2.3** Caudal de agua bombeado por una mujer (arriba), un hombre (en medio) y por un niño (abajo) en ocho horas de bombeo para distintos sistemas de bombeo y a diferentes profundidades





**Grafico 3.2.4** Curvas de potencia consumida en ocho horas para un hombre, una mujer y una niña en el empleo de distintas bombas de agua para diferentes alturas de bombeo



### 3.2.4 Discusión

Es evidente que existe cierto vacío dentro de los proyectos encargados de dimensionar un sistema de bombeo manual a la hora de considerar con precisión la importancia de una estimación precisa de la potencia desarrollable por los usuarios de las bombas. Sin esta delimitación del esfuerzo humano, caracterizada por las circunstancias de cada grupo al que se destina el sistema, los cálculos basados en el caudal extraíble por la bomba en cuestión nunca podrán ser tan ajustados como deberían. A través de lo que nos explican los estudios ergométricos al respecto, resulta imprescindible realizar un análisis de determinadas especificaciones que alteran notablemente qué potencia desarrollarán los usuarios de los equipos. Será necesario revisar a la hora de dimensionar cuál será el esfuerzo real aplicado, a qué distancia se encuentra la población usuaria, cómo transporta el agua, cuál es la edad media de los usuarios y cuál su sexo, cuáles son las temperaturas y

demás condicionantes meteorológicos en la época de utilización de la bomba, y qué hábitos culturales pueden a la vez explicar limitaciones en el esfuerzo relacionadas con la alimentación o la constitución física.

Por todo esto y como herramienta de orientación, vamos a tratar de resumir los resultados que desde los estudios realizados en el campo de la ergometría, más la información aportada por los distintos informes acerca del funcionamiento y uso de los sistemas de bombeo manual hemos recogido. Comenzamos basando la referencia de la capacidad de esfuerzo de una persona a su peso y sexo, de tal manera que podamos particularizar cada instalación de manera más certera. A través de los datos proporcionados por el informe mundial sobre población (incluido en el cd anexo al estudio) podemos recoger los pesos medios de cada área de estudio. Para una población como la que corresponde a las clases medias y altas del primer mundo, bien alimentada, con un desarrollo corporal regular y una cotidianidad marcada por un esfuerzo físico limitado, recogeremos los datos proporcionados por la ergometría de 2W/Kg para hombres y de 1,5W/Kg para mujeres de entre 20 y 30 años para sistemas accionados manualmente a través de manivela y de 2,6W/Kg para hombres y 2W/Kg para mujeres en sistemas que emplean un mecanismo de bombeo por pedaleo. A estas potencias relativas habremos de añadir las particularidades marcadas por la edad y el sexo o por las circunstancias que condicionen el abastecimiento como la distancia a la fuente, el tiempo de bombeo, la ergonomía del equipo, las condiciones atmosféricas o los hábitos culturales relacionados con el esfuerzo físico. Las restricciones porcentuales respecto a la potencia nominal ideal a causa de estos condicionantes se encuentran recogida en la tabla 3.2.7. Estableceremos un valor de potencia nominal a partir de los valores de referencia relativos para hombre y mujer ya comentados tal y como se recoge en la tabla 3.2.6, este valor se construye considerando condiciones ideales respecto a la ergonomía, distancia a la fuente (<5min), la temperatura, el tiempo de bombeo, la humedad relativa, la alimentación y la condición física.

**Tabla 3.2.6.** Potencia nominal de un usuario en el empleo de una bomba manual

Sexo	Edad	Ergonomía		T	Humedad relativa	Tiempo bombeo	Alimentación	Condición física	Potencia nominal
Hombre	20-30 años	Buena	Brazos	20°C	Media	<15min	Adecuada	Normal	2W/Kg
			Pedaleo						2,6W/Kg
Mujer			Brazos						1,5 W/Kg
			Pedaleo						2 W/Kg

Solo incluyendo las circunstancias que limitan el esfuerzo de cada población usuaria de la instalación a esta potencia nominal se podrá realizar un dimensionamiento real del equipo de bombeo y de su capacidad. El empleo de la tabla 3.2.7 en el cálculo real del esfuerzo desarrollable pretende servir de orientación en el momento de estudio de una población usuaria, no olvidemos que estamos trabajando en el ámbito rural y planteando el abastecimiento para el consumo de agua mínimo por persona y día, que evite afecciones en la salud relacionadas con la escasez.

**Tabla 3.2.7.** Porcentaje de potencia desarrollable que se alcanza respecto al valor de la potencia nominal, por una usuaria de una bomba manual, para distintos factores condicionantes.

%		Hombre					Mujer				
Edad		<14	14-20	20-30	30-40	>40	<14	14-20	20-30	30-40	>40
		75	90	100	90	75	85	90	100	85	70
Distancia media a la fuente	< 5min	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<60min	80	90	95	90	80	80	90	95	85	75
	>60min	60	70	80	80	65	60	70	80	75	60
Tiempo de bombeo	<15min	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<30min	80	90	95	90	75	80	90	95	85	70
	>30min	60	70	80	80	65	60	70	80	75	60
Ergonomía del equipo	Media	90	95	100	95	90	90	95	100	90	85
	Baja	85	90	95	90	85	85	90	95	85	80
Temperaturas	Altas	85	90	95	90	85	85	90	95	85	80
Humedad relativa	Alta	80	90	95	90	85	80	90	95	85	80
Alimentación	Mala	80	90	95	90	85	80	90	95	85	80
Condición física	Mala	80	90	95	90	85	80	90	95	85	80

Una vez estudiado el número de personas de la población en cada grupo de edad, ajustando las limitaciones introducidas porcentualmente por los distintos condicionantes respecto a la potencia nominal, podremos establecer una media de la potencia que puede llegar a desarrollar la población que emplea el equipo de bombeo manual para abastecerse de agua.

Si estudiamos como ejemplo una mujer típica centroafricana, de 25 años y con 42Kg de peso, que tiene que recoger agua para una familia, lo que la implica menos de 15 minutos de bombeo, que empleará una bomba manual afridev (ergonómica) a menos de 60 min de su domicilio, recogiendo el agua en un país ecuatorial (altas temperaturas y humedad), con una dieta alimenticia incompleta pero con un entrenamiento físico adecuado tendremos:

$$1,5W/Kg \times 42Kg \times 1(edad) \times 0.95(dist) \times 1(erg) \times 1(t) \times 0.95(T) \times 0.95(hum) \times 0.95(alim) \times 1(cond) = 51W$$

Se trataría al fin y al cabo de estudiar cual es la población que mayoritariamente se encarga del abastecimiento del agua en las familias, especificar en que condiciones lo hacen a través del empleo de la tabla anterior, y a partir de ahí establecer una media de potencia aproximada en el empleo del equipo de bombeo. De esta manera podremos orientar qué capacidad real tendrá este sistema de bombeo para resolver los problemas de escasez de agua.

A modo de conclusión de esta parte y como semilla para cálculos generales de los próximos apartados, estableceremos unos valores de potencia desarrollables por un hombre, una mujer y una niña/niño de manera general, característicos de las poblaciones usuarias en estas instalaciones de bombeo manual en los países menos desarrollados. Estos valores solo servirán como orientación, ya que como ya hemos comentado, en el dimensionamiento de un equipo de bombeo manual seria imprescindible realizar un cálculo preciso de la potencia disponible, a través del análisis de todos los factores señalados que afectan su desarrollo. En la tabla 3.2.8 se detallan estos valores, calculados a partir de los datos de peso de la población mundial ( referencia ), considerando personas entre los 20 y 30 años, para los adultos, y de menos de 14 años para los niños. Además hemos presupuesto condiciones altas de humedad relativa y temperatura, una alimentación incompleta y desplazamientos medios hasta la fuente. De esta manera elaboramos la tabla 3.2.8.

**Tabla 3.2.8** Potencia desarrollable de referencia en el empleo de bombas manuales en países del tercer mundo

	Parte del cuerpo empleada	Potencia desarrollable
Hombre	Piernas: pedaleo	100 W
	Brazos: manivela, palanca	70 W
Mujer	Piernas: pedaleo	75 W
	Brazos: manivela, palanca	50 W
Niña/niño	Piernas: pedaleo	65 W
	Brazos: manivela, palanca	40 W

### 3.3 Estudio técnico de las bombas manuales de agua

Hasta aquí, en este punto, hemos tratado de introducir desde un punto de vista global la trascendencia de los equipos de bombeo manual de agua. A continuación hemos comenzado a delimitar uno de los parámetros fundamentales de la ecuación (1), la potencia absoluta con la que podrán contar estos sistemas. Una vez realizado este recorrido previo vamos a intentar detallar el resto de parámetros principales en las bombas, sus aspectos técnicos y que distintos mecanismos las caracterizan. Completaremos nuestro análisis incluyendo un estudio experimental que nos permita contrastar la capacidad real de cada mecanismo de bombeo en comparación con los demás y con relación al bombeo de agua en general.

#### 3.3.1 Parámetros básicos de estudio: profundidad, potencia, caudal, pérdidas, eficiencia

A la hora de poder estudiar detalladamente los distintos mecanismos de funcionamiento de una bomba manual es necesario cotejar los distintos parámetros que caracterizan su empleo. Recordemos las ecuaciones desarrolladas en la introducción:

$$(1) \quad Q \cdot t_{\text{bombeo} / p.d.} = V$$

$$(4) \quad \dot{W}_{\text{bombeo}} = \frac{\dot{W}_{\text{útil}}}{\eta_{\text{bomba}}} = \frac{\rho g h Q}{\eta_{\text{bomba}}}$$

$$(5) \quad t_{\text{bombeo}} = \frac{\rho g h V}{\eta_{\text{bomba}} \dot{W}_{\text{bombeo}}}$$

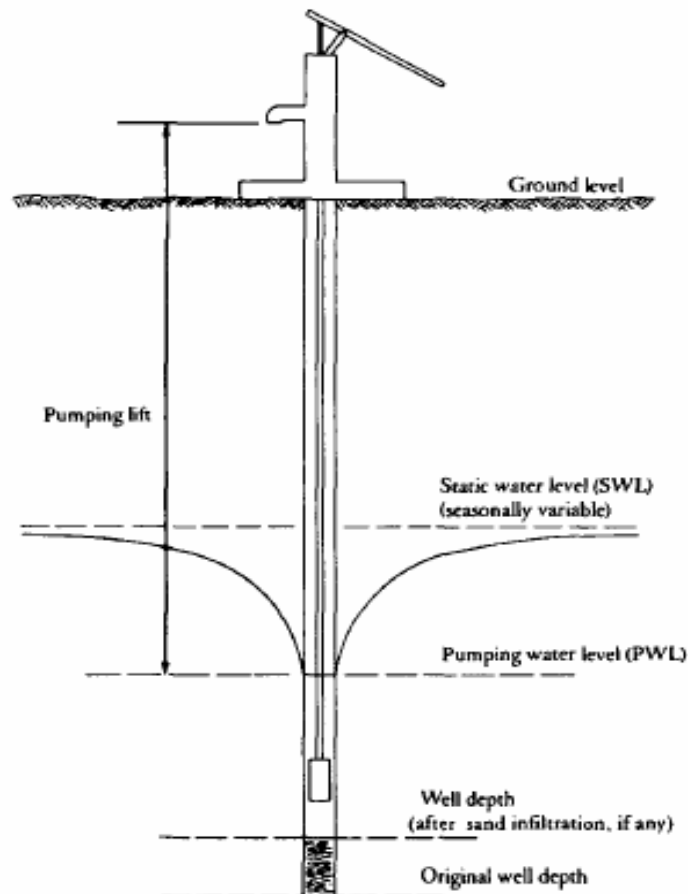
Será imprescindible por un lado delimitar con qué profundidad de bombeo trabajará la bomba a lo largo de su vida útil, definiendo un intervalo ajustado de la altura a la que se encuentra el nivel del agua subterránea en el pozo y considerando si durante el año existirán variaciones notables en ese nivel de trabajo. Además se debe tener en cuenta a la hora de comprender el uso de estos mecanismos hasta qué punto un uso intensivo de los mismos puede llegar a implicar un ritmo de consumo de agua en el pozo que impida su recarga completa, lo que conllevaría un aumento progresivo de la profundidad de bombeo, siendo necesario por tanto considerar la instalación evaluando el consumo medio de sus usuarios y la capacidad real del pozo de abastecer en función del mecanismo de bombeo empleado (Arlosoroff 1987). En esta línea y como elemento definitivo en la capacitación de los equipos y en el cálculo del tiempo empleado en el bombeo descrito en (5), queda clara la trascendencia del dimensionamiento de los caudales de bombeo del equipo, y por supuesto de la eficiencia de los mismos. A continuación detallaremos estos parámetros.

#### 3.3.1.1 Altura de bombeo

Como hemos comentado, la altura de bombeo es uno de los parámetros fundamentales a tener en cuenta en todo el proceso de diseño de una instalación de bombeo manual. En función de la profundidad a la que se encuentre el agua dentro del pozo con el

que trabajemos será más adecuado el uso de equipos diferentes. Como se explica en la figura 3.3.1., la determinación de la altura de bombeo vendrá condicionada no solo por el nivel estático del agua (SWL), sino también por la rebaja que en este se produce en relación al agua que el equipo retira en el bombeo y en cómo la permeabilidad del terreno permite la recarga del pozo definiendo un límite inferior al nivel de agua subterránea de la zona (PWL) que delimitará la altura real de bombeo para la instalación.

**Figura 3.3.1.** Altura de bombeo real PWL y nivel estático de agua SWL (Handpumps IRC 1988)



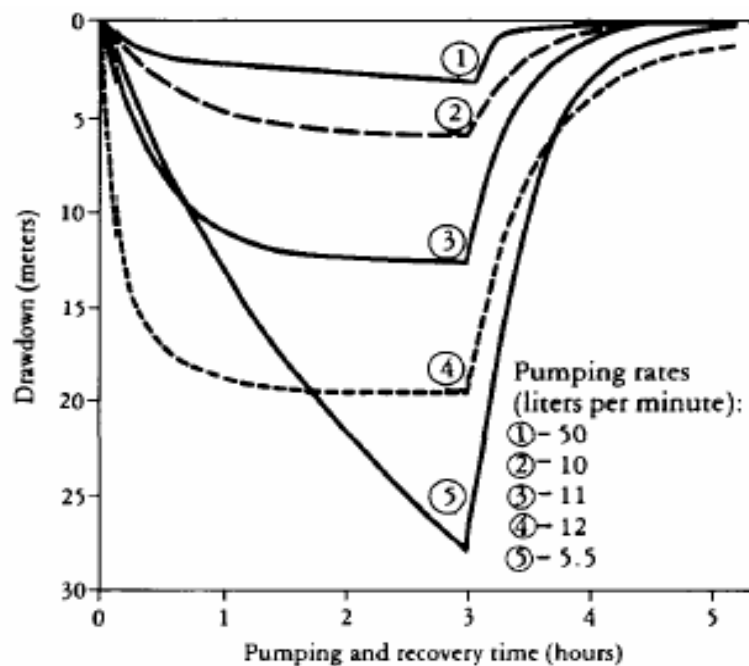
Se pueden establecer, a grandes rasgos categorías características en relación con esta altura de bombeo, como detallaremos en los siguientes apartados para cada mecanismo. Esta altura de trabajo será de hasta siete metros de profundidad para las bombas manuales de succión, de hasta los 20 metros para las basadas en mecanismos que emplean el accionamiento directo, pudiendo alcanzar entre los 25 y los 45 metros de altura de bombeo como mucho, para algunos equipos manuales. Esta máxima profundidad estará marcada por los límites del esfuerzo humano y por tanto por la potencia de la que dispondrá el sistema de bombeo para proporcionar descargas de agua aceptables.

### 3.3.1.2 Caída de los niveles de agua subterráneos

Un parámetro crítico a tener en cuenta es la rebaja del nivel de agua a causa del bombeo desde el equipo (por supuesto hay que considerar complementariamente las

variaciones estacionales de este nivel o las caídas provocadas por equipos cercanos). Para pozos en terrenos permeables esta rebaja del nivel será mínima, pero si la capacidad de recarga del pozo es del orden de las cantidades de agua extraídas con motivo de las características de la roca base del pozo combinadas con las fluctuaciones estacionales se puede producir que el mecanismo de bombeo se encuentre por encima de ese nivel de agua y por tanto se bombee aire permitiendo la intrusión de arena en el equipo con el daño que esto acarreará (Hahn R. 1984). En un estudio realizado sobre distintos equipos de bombeo con distintas condiciones de explotación en Ghana en una zona donde el nivel estático del agua era de 10 a 12 metros, se recogieron los resultados en la rebaja de ese nivel de agua frente a distintos caudales extraídos (del caso 1 que retira 50 l/s al 5 que bombea 5,5 l/s), que se muestran en el gráfico 3.3.1. Sobre 5 pozos usados durante tres horas de manera continua comprobamos que no necesariamente los que más agua bombeaban (el 1 con 50 l/s y una rebaja de menos de 3m) fueron los que sufrieron mayor rebaja en sus niveles de agua en pozo (el 5 con 5,5 l/s y una rebaja de más de 25m), siendo por tanto como se demuestra en este estudio más determinantes las características del terreno que incluso el caudal de agua retirado.

**Gráfico 3.3.1.** Disminución del nivel freático frente al caudal extraído  
(The handpump option 1987).



Evidentemente estos resultados no son cuantitativamente extrapolables a otra instalación, pero muestran claramente la trascendencia del efecto. Este condicionante introduce un factor que combinado con la potencia y el caudal demuestra que la instalación de estos equipos es más complicada que lo que a priori se puede plantear. No bastará el diseño de bombas con mucha capacidad de extracción que agoten los pozos día tras día hasta averiarse, ni equipos muy profundos que impliquen esfuerzos enormes para caudales de agua insuficientes. Habremos de combinar en una sola instalación la capacidad del pozo de recarga, con la potencia humana y con la profundidad de estos equipos.

### 3.3.1.3 Caudal de trabajo

Como hemos venido comentando, el caudal bombeado por el equipo será sin duda un condicionante fundamental tanto en el proceso de diseño de la instalación como en el de funcionamiento de la misma. Nos permitirá comprobar hasta qué punto el sistema de bombeo puede garantizar el abastecimiento de agua básico para sus usuarias y cual es la eficiencia de ese equipo frente a la potencia que esos usuarios se ven obligados a desarrollar para alcanzar determinados caudales. Como hemos explicado en el punto anterior será también importante para dimensionar la recarga del pozo y por tanto de la capacidad real de funcionamiento de la instalación completa. La experiencia ha demostrado que los usuarios priorizan la rapidez en el abastecimiento al esfuerzo desarrollado, de tal forma que siempre que la recarga del pozo lo permita, el usuario bombeará altos caudales aunque le exija altos esfuerzos si de esta manera logra emplear menos tiempo en la operación. El caudal será por tanto, junto a la altura de bombeo, el factor determinante en el estudio de una bomba manual.

### 3.3.1.4 Rendimiento de la instalación

A la hora de poder estudiar el funcionamiento de una instalación de bombeo manual será fundamental también considerar cual es la relación entre esa potencia desarrollada por el usuario aplicada a la bomba, el caudal de agua recogido y la altura de bombeo. Es previsible que exista una diferencia entre el caudal ideal para una determinada potencia y el real que será sensiblemente inferior. Esa diferencia estará marcada por todas las pérdidas que presente el equipo, desde las producidas por un diseño que no tenga la ergonomía adecuada para el usuario en cuestión hasta aquellas producidas durante el proceso de recogida de agua o las relacionadas con la manufactura, las pérdidas mecánicas, fugas, etc. También estas pérdidas pueden estar vinculadas al deterioro de partes del equipo por corrosión o abrasión.

Todos estos factores y su influencia en el recorte del caudal teórico respecto al real estarán cuantificados por el rendimiento de la bomba. Será necesario considerar en cada caso cual de estos factores es el principal protagonista de las posibles pérdidas que se produzcan en el equipo, tanto para evitar futuras averías como para prever con más precisión la capacidad real de abastecimiento de la bomba en cuestión. A continuación entraremos a detallar los distintos mecanismos típicos de las bombas de mano, a través del estudio de sus aspectos técnicos y de su principio de funcionamiento. También cotejaremos sus resultados experimentales con los teóricos delimitando para cada caso cuales son los regímenes de caudal, altura de bombeo y potencia, más característicos.

### 3.3.2 Bombas de pistón

Los sistemas de bombeo manual que emplean un sistema de pistón como elemento fundamental de su mecanismo de funcionamiento son conocidos también como bombas recíprocas, bombas aspirantes o bombas de émbolo. Ya en la antigua Roma, allá por el 275 AC, se utilizaron, pero las actuales tienen su origen en el diseño desarrollado durante el siglo XX en Europa y Norteamérica. Estas bombas fueron utilizadas en pequeñas poblaciones, por unidades familiares que la empleaban como mucho una media hora al día. En los últimos años estas bombas han evolucionado hasta ser capaces de abastecer a unos 500 usuarios, funcionando de manera continua durante más de ocho horas al día.



A lo largo de esta evolución desde la bomba de granja tradicional que observamos en la figura 3.3.2 ( Engbers 1997), hasta los sistemas actuales como la bomba Afridev de la figura 3.3.3, se han realizado modificaciones notables (Franceys R. 1987). Estos equipos han tenido que adaptarse en cada caso a situaciones distintas, que han condicionado desarrollos diferentes. Ya sea por condiciones distintas respecto a los parámetros básicos, altura de bombeo, necesidades de caudal, o potencia disponible, como por condiciones diferenciadas por los materiales disponibles, la situación geográfica o los recursos económicos. También dentro de esta categoría han surgido modelos en función de consideraciones como los riesgos de corrosión, abrasión, o desgaste de los pozos.

**Figura 3.3.2.** Bomba tradicional



**Figura 3.3.3** Bomba Afridev

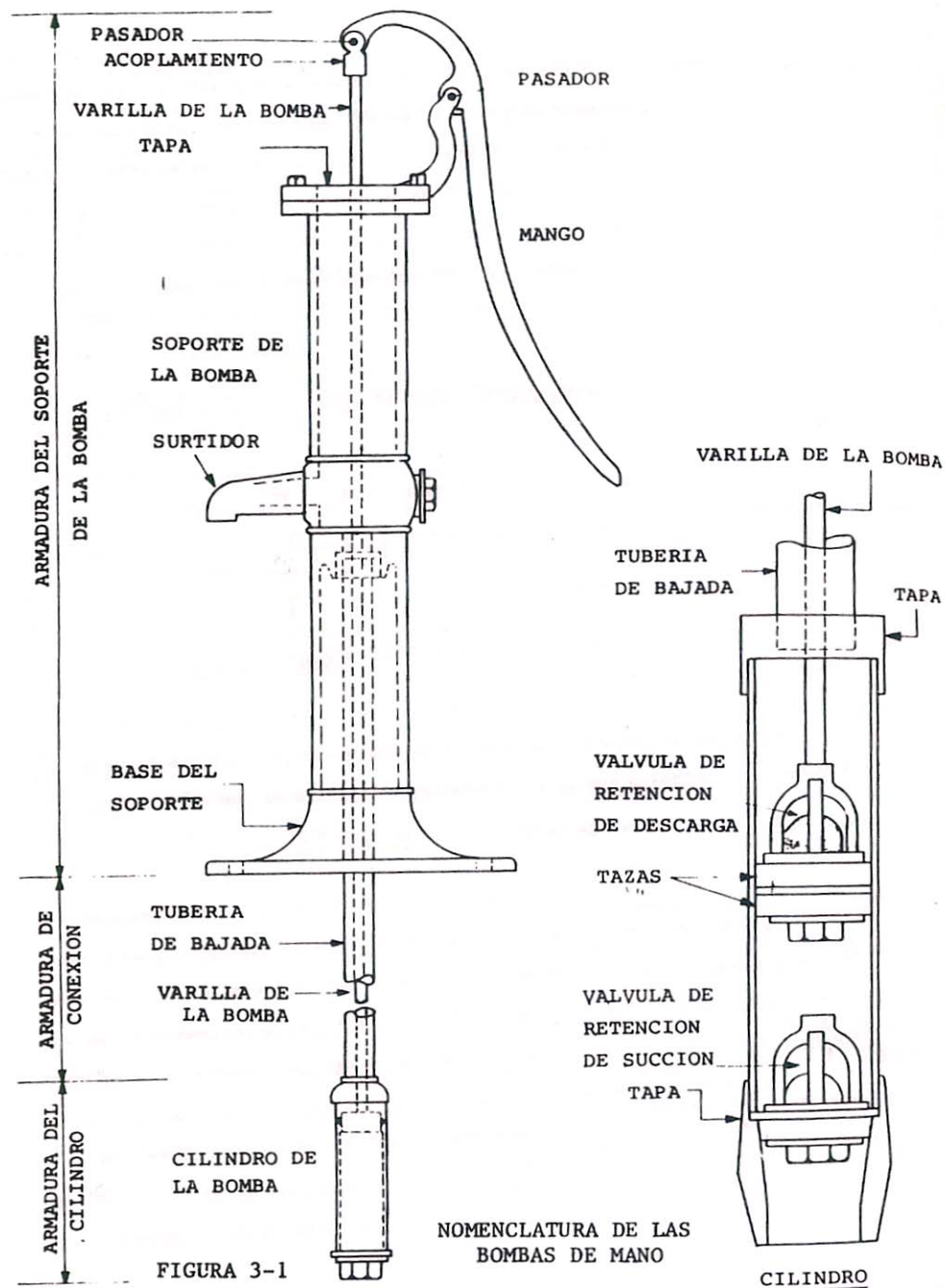


Aunque dentro de esta categoría de bombas tengamos que introducir una nueva clasificación que incluya las distintas bombas características dentro de esta tecnología, que han provocado los diferentes procesos de desarrollo, todas ellas como veremos a continuación están básicamente fundamentadas en torno al mecanismo de cilindro-pistón.

### 3.3.2.1 Estructura genérica

Como se recoge en la figura 3.3.4, la estructura básica de una bomba manual de pozo basada en un mecanismo de pistón puede dividirse en tres partes fundamentales: la armadura del soporte que se encuentra sobre la superficie, la armadura del cilindro que se sitúa dentro del pozo en la parte sumergida, y la armadura de conexión que une el soporte de la bomba al cilindro. Como detallaremos más adelante en los pozos profundos estas tres armaduras se encuentran separadas mientras que en los más superficiales la armadura del cilindro y la varilla de conexión pueden estar dentro del soporte de la bomba.

Figura 3.3.4 Estructura clásica de una bomba de pistón (Hofkes 1977)

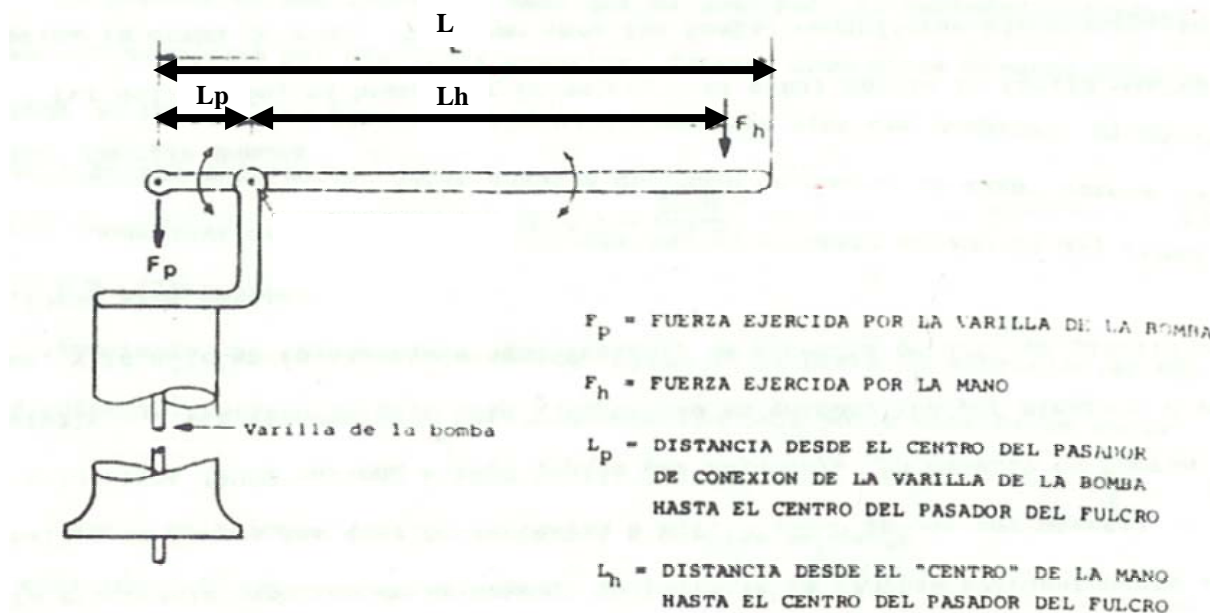


La armadura del soporte de la bomba realiza tres funciones, transmitir la fuerza motriz a la varilla de la bomba a través del accionamiento de la manivela, proporcionar un punto de descarga de agua y proveer de una protección sanitaria al pozo. Como se comprueba en la figura 3.3.4 la palanca permitirá mover la varilla que se encarga de hacer funcionar el mecanismo del cilindro-pistón. Esta palanca es un elemento clave dentro de esta estructura, ya que a través de su empleo es posible multiplicar la fuerza realizable en proporción a la ventaja mecánica que ésta proporcione. Esta ventaja está basada en el mecanismo del mango, como nos indica la figura 3.3.5. La fuerza ejercida por la mano en el extremo de palanca de la manivela se verá multiplicada por el cociente entre la distancia hasta el apoyo ( $L_h$ ) y la distancia del apoyo de la manivela a la conexión de la varilla ( $L_p$ ).

De tal forma que esa ventaja mecánica vendrá definida por el cociente de ambas distancias que vienen determinadas por las condiciones que exigen con la carrera del émbolo dentro del cilindro y el arco recorrido por el mango, que de ser excesivo dificultaría la operación de bombeo. La ventaja mecánica se establece de tal manera que la fuerza humana máxima necesaria en el empleo de la manivela no exceda los 20 kg-f por golpe de manivela.

A partir de esta limitación y en función de la altura de bombeo, de un caudal razonable de descarga, de un arco recorrido por el mango confortable de entorno a los 300-400mm y de una carrera del émbolo que esté alrededor de los 100mm con una frecuencia de entre 30 y 60 golpes/min, se determinará la ventaja mecánica necesaria.

**Figura 3.3.5** Geometría de la manivela (Hofkes 1977)



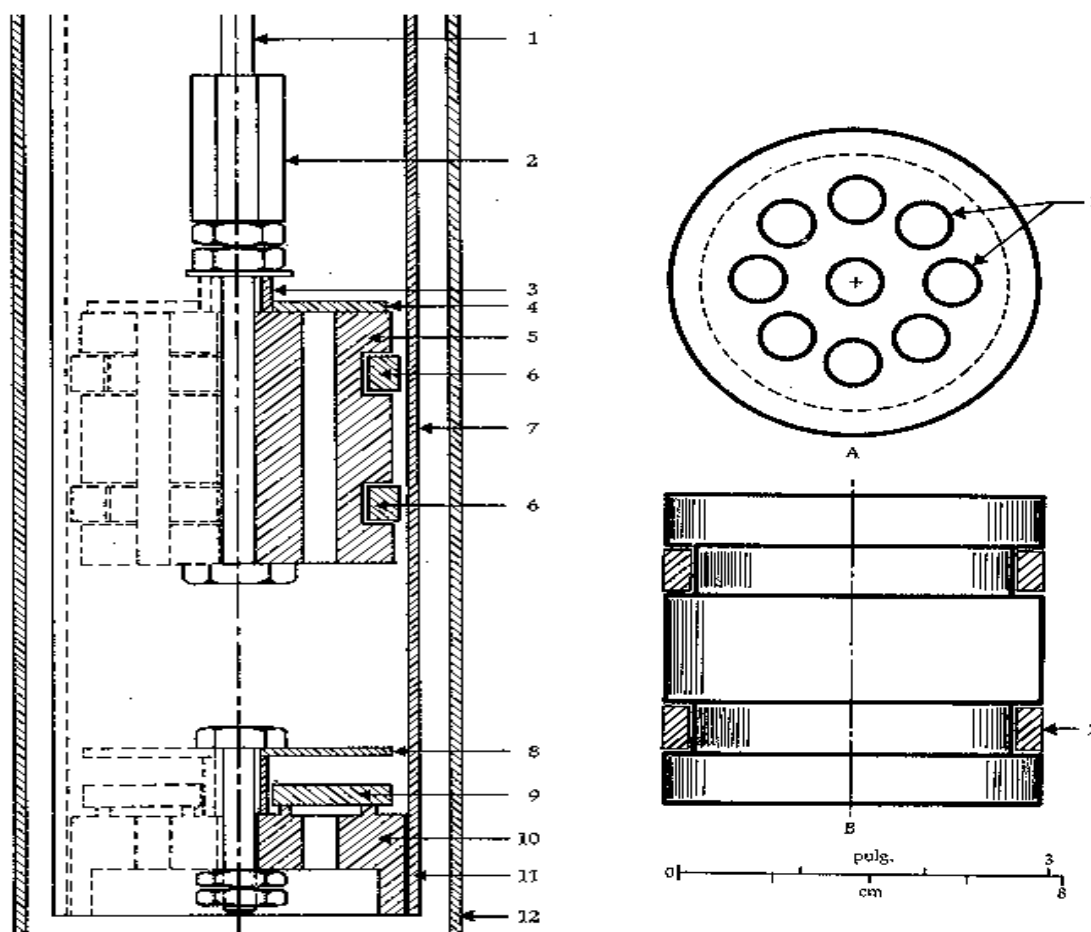
Como se comentó anteriormente, se ha comprobado que entre distintas bombas con condiciones semejantes de funcionamiento prevalecen aquellas que proporcionan mayores caudales aunque exijan mayor fuerza en su empleo, siempre y cuando esta no sea excesiva (menor a 20Kg-f). La combinación de la ventaja mecánica junto con las dimensiones del cilindro del pistón serán determinantes a la hora de poder capacitar una instalación de bombeo manual de estas características.

#### 3.3.2.2 Principio de funcionamiento del pistón

A partir del accionamiento de la manivela, se produce el movimiento vertical de la varilla que une esta manivela con el mecanismo de pistón recogido en la figura 3.3.4. Este movimiento vertical de subida y de bajada característico, permite el bombeo continuo de agua. Como se detalla en la figura 3.3.6 la estructura de esta parte de la bomba esta conformada por un émbolo o pistón (5) cuya sección horizontal corresponde a la figura 3.3.6 derecha, que al accionar la varilla se mueve verticalmente a través del cilindro (7). Este pistón posee unos anillos (6) que aseguran el sellado hidráulico. La velocidad del pistón, que resulta de la longitud de carrera del pistón y de la frecuencia de golpeo debe ser suficientemente alta como para garantizar la baja filtración, más allá de los anillos del propio pistón. Además sobre este pistón se encuentra una válvula de no retorno que

también se moverá verticalmente. Existe otra válvula, de no retorno, denominada de pedal (10) que se encuentra en una posición fija al fondo del cilindro. Esta válvula permite al agua entrar al cilindro desde la parte inferior del pozo pero impide el proceso inverso.

**Figura 3.3.6 Izquierda:** Elementos subterráneos de la bomba manual de pistón: (1) varilla; (2) empalme; (3) guía; (4) válvula de pistón; (5) pistón o émbolo; (6) anillo de pistón; (7) tubo; (8) chapa; (9) chapa o lámina de válvula de pedal; (10) válvula de pedal; (11) cola de cemento con disolvente; y (12) entubado del pozo. **Derecha:** Sección del pistón (Goh Sing Yau 1985).



La operación de bombeo se desarrolla a través de un ciclo que se repite marcado por dos fases fundamentales que se recogen en la figura 3.3.7:

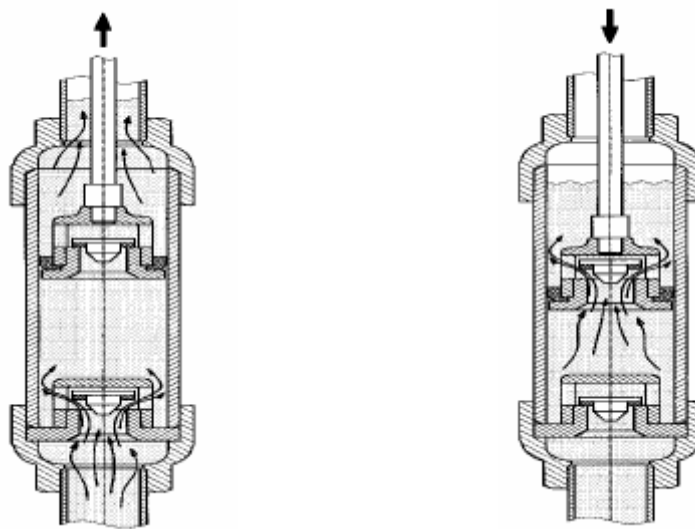
a) Como vemos en el cilindro a la izquierda de la figura y suponiendo que la bomba esta cebada, o que tiene el cilindro por debajo del nivel del agua subterránea, al elevarse el pistón, el peso de la columna de agua que se encuentra sobre él produce el cierre de la válvula del pistón con lo que se eleva la columna de agua sobre ella a lo largo del tubo de subida hasta salir por el surtidor. Además al mismo tiempo el movimiento de subida del pistón con su válvula cerrada produce una disminución brusca de la presión en la zona entre válvulas provocando que el agua del pozo que se encuentra aproximadamente a presión atmosférica eleve la válvula de pie y penetre en esta zona.

b) Cuando el pistón termina su movimiento de subida y comienza a descender como se recoge en la derecha de la figura, la presión del cilindro en su carrera de bajada sobre el

volumen de agua por debajo de él cierra la válvula de pie, impidiendo que este agua vuelva de la zona entre válvulas al pozo. A continuación ese agua que se encuentra entre válvulas, al bajar el pistón, provoca la apertura de la válvula del pistón permitiendo que al mismo tiempo que el pistón baja el agua pase de la zona entre válvulas a la tubería de subida.

c) El nuevo movimiento de subida del pistón, debido al aumento progresivo de la columna de agua sobre él, además de cumplir lo reseñado en a), exigirá la aplicación gradual de una fuerza mayor en la manivela hasta que el agua bombeada alcance la superficie momento a partir del cual se mantendrá constante como la altura de la columna.

**Figura 3.3.7** Fases del mecanismo de bombeo (Baumann 2000)



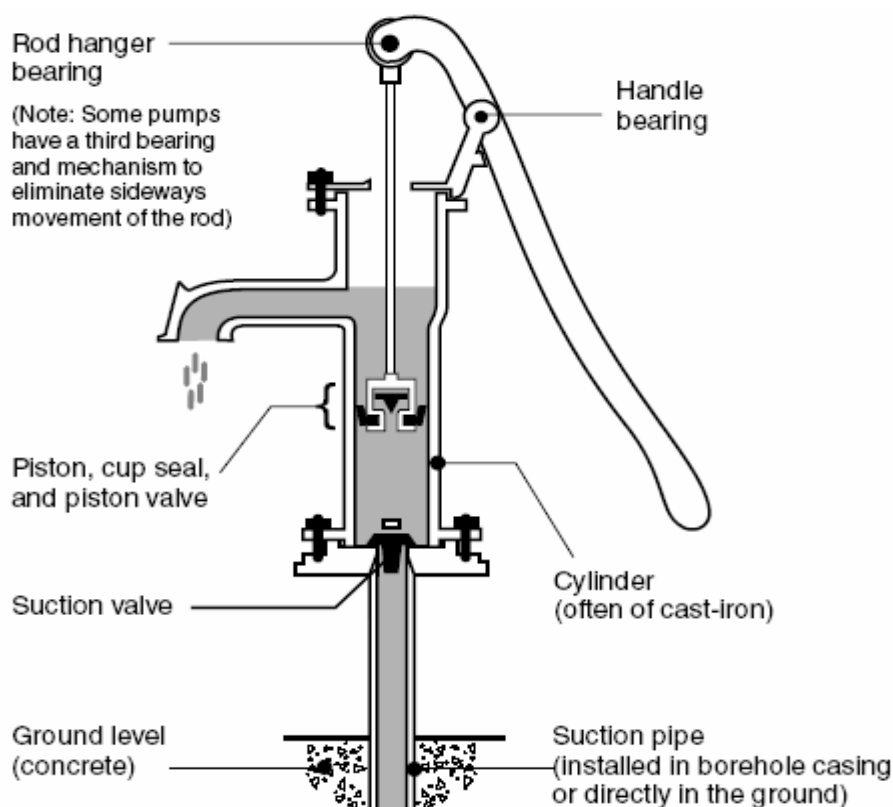
Aunque todas las bombas recíprocas funcionan a partir de este mecanismo central que acabamos de describir, se han desarrollado distintas especificaciones en estos sistemas, en función de parámetros particulares que han provocado diseños diferentes. El factor que ha producido un mayor condicionamiento ha sido la altura de bombeo, por lo que lo tomaremos como referencia al presentar una clasificación de las bombas de pistón. Es evidente que en un equipo de este tipo existirán pérdidas relacionadas con las distintas características que lo conforman, desde una fricción hidráulica entre el flujo de agua y las paredes del tubo de succión y de la tubería de bajada o las paredes del cilindro, hasta las relacionadas con la turbulencia hidráulica asociadas a la contracción y expansión del líquido cuando fluye a través de válvulas o cilindro (Garnet 1995).

#### 3.3.2.3 Bombas de succión

Estas bombas de pistón están caracterizadas por tener el mecanismo del émbolo dentro de la armadura superficial de la bomba, como se observa en la figura 3.3.8. Como hemos descrito en el apartado anterior, el pistón al elevarse provoca un vacío en la zona entre válvulas, generando una diferencia de presión respecto al pozo, que se encuentra a la presión atmosférica. Esta diferencia de presiones tendrá la capacidad de elevar agua que se encuentre por tanto a un máximo de profundidad limitado por la presión barométrica, de 10,4 metros al nivel del mar. Debido a las pérdidas mecánicas del sistema, se alcanzará una altura máxima de bombeo de unos 7 metros, reduciéndose esta en función de la altura sobre el nivel del mar a la que situemos la instalación, llegando a alcanzar apenas un par de metros de altura de bombeo si estamos a 4000 metros (Elson R.J. 1993). Además de esta

limitación, la bomba de succión al encontrarse el pistón fuera del pozo, se vacía por gravedad con el desuso, por lo que ha de ser cebada antes de cada uso, con los riesgos de contaminación del pozo que esta recarga supone. No están diseñadas para soportar más de 50 usuarios al día. Estos condicionantes no evitan que sea la bomba más habitual en el mundo, debido al alto caudal que aporta y a la sencillez de reparación y desmontaje, al encontrarse todo el sistema fundamentalmente sobre la superficie.

**Figura 3.3.8** Bomba de succión (Elson R.J. 1993)



Existen distintos modelos de bombas de succión, los más habituales han sido la AID suction desarrollada en EEUU a partir del diseño tradicional de las bombas de granja, la Bandung en Indonesia, la Inhalas suction en India, la Jetmatic suction en Filipinas, la Lucky en Tailandia o la N° 6 en Bangladesh. Los valores típicos de los parámetros de funcionamiento vienen recogidos, junto con los del resto de bombas, en la tabla 3.3.1, al final de esta parte del capítulo.

### 3.3.2.4 Bombas de acción directa

Adecuadas para una altura de bombeo de entre los 10 y los 20 metros, están basadas en un mecanismo de manivela de accionamiento directo de tal forma que no se emplea ventaja mecánica alguna. Un esquema típico de una bomba de este tipo se recoge en la figura 3.3.9. La elevación de la varilla que va hasta el pistón y de la columna de agua correspondiente se realiza directamente con la fuerza del usuario. Este sistema simplifica la tecnología y facilita el mantenimiento, así como la reparación de averías, acercándose de esta manera a los objetivos del diseño VLOM (Nampusuor R.2000).



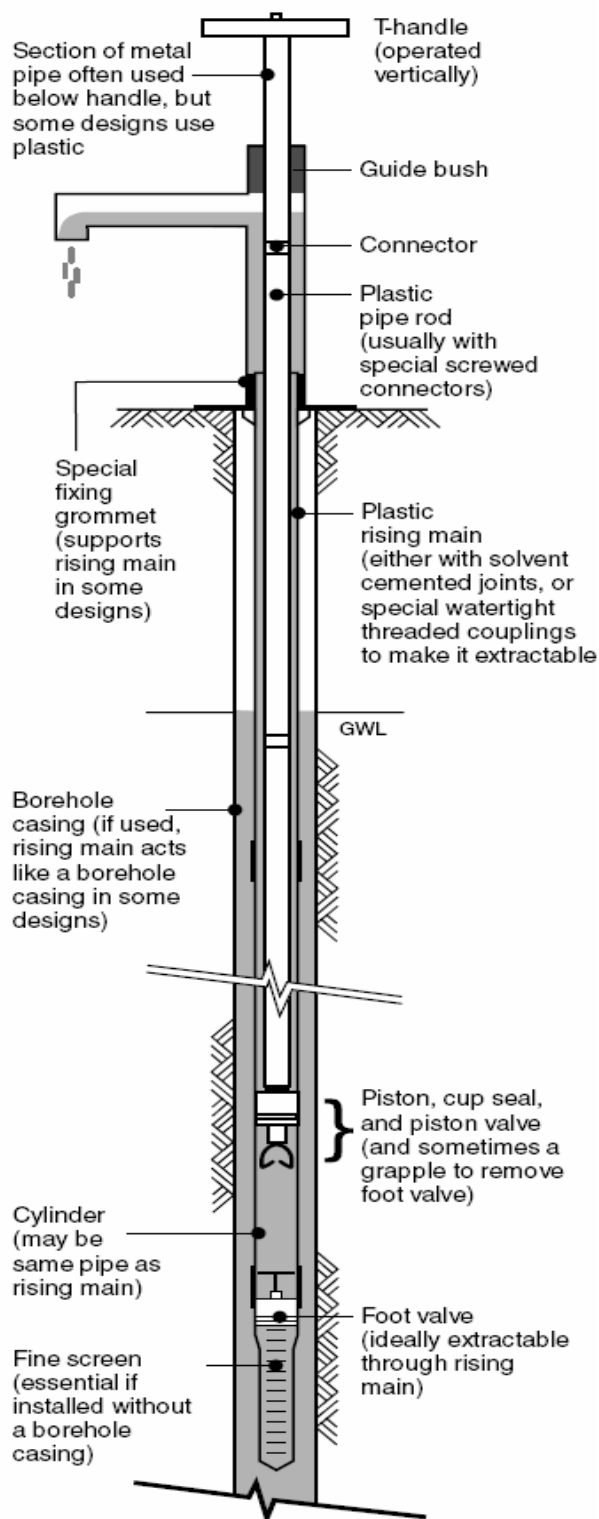


Figura 3.3.9 Bomba de acción directa

Debido a su diseño de accionamiento directo, esta bomba, a diferencia del resto de las de pistón, no cuenta con la ventaja mecánica que proporciona una palanca para multiplicar la fuerza aplicada. Por ello para exigir una menor fuerza desde el usuario que acciona el mecanismo, se introduce un diámetro del tubo de subida menor, que reduce el peso de la columna elevada. Además junto a esta reducción, la varilla que conecta la manivela con el pistón es hueca, de tal manera que su flotabilidad, facilite también la carrera de ascenso. Estas dos medidas logran que en la carrera de subida, la fuerza exigida al usuario al subir la manivela, sea menor que la que ha de desarrollar en la bajada donde puede emplear su peso como ayuda. Para compensar el menor caudal extraído en su carrera ascendente al haber reducido el diámetro de la tubería de elevación, la bomba también retira agua por el surtidor en su carrera descendente, a diferencia del resto de equipos basados en el mecanismo de pistón que solo lo hacen en la ascendente. Para ello su diseño cuenta con una carrera de pistón hasta tres veces mayor que la habitual en el resto de bombas con esta tecnología. Junto a esto, los diámetros del tubo de subida y de la varilla son más parejos. De esta manera en su carrera descendente la columna se ve elevada por el volumen de agua que desaloja la varilla al introducirse en el tubo de subida, consiguiendo retirar agua. En el resto de bombas de pistón el menor diámetro de la varilla respecto al del tubo de elevación y la longitud de la carrera, muy inferior, impiden que el volumen desalojado por la varilla al introducirse en la tubería sea significativo.

Los modelos más habituales que funcionan con este diseño son la bomba “Tara” desarrollada inicialmente en Bangladesh, la “Nira” de origen finlandés y la “Malda”. Las dos segundas son más caras pero presentan un mejor comportamiento en la durabilidad y pueden por tanto soportar un uso más intensivo a lo largo del día y a un mayor número de usuarios. La Tara y la Malda son

de diseño de dominio público, a diferencia de la Nira AF85, en la que está restringido por la empresa que lo desarrolló. Además de estos, modelos similares se han implementado en Etiopia y en Malawi, pero no han alcanzado los niveles de los anteriores, ni en cantidad ni en fiabilidad. Los valores típicos de los parámetros de funcionamiento vienen recogidos en la tabla 3.3.1, al final de este capítulo.

### 3.3.2.5 Bombas de pozo profundo

Están caracterizadas por su capacidad de bombeo de hasta 45 metros de profundidad, con caudales aceptables y para esfuerzos razonables, tal y como los hemos descrito en el punto 3.2, aunque algunos autores plantean su uso hasta los 60 metros o aún más, utilizando la fuerza conjunta de dos personas. Son bombas que pueden trabajar a cualquier profundidad presentado una capacidad de elevar agua mayor que las anteriores, pero debido a su alto coste respecto al resto, sólo se emplean para pozos profundos de más de 20 metros (Journey W. 1978). Al trabajar con elevadas alturas de bombeo, en estas bombas si es imprescindible el empleo de la ventaja mecánica de tal manera que la fuerza empleada por el usuario se vea multiplicada en la varilla del cilindro mediante la acción de la palanca, llegando incluso el diseño a introducir manivelas de dos asas que permitan aumentar esa fuerza imprescindible como en la bomba de la figura 3.3.3, que se trata como la figura 3.3.10 de una Afridev. Este modelo junto al Indian Mark en sus distintos desarrollos II y III principalmente, son los que han alcanzado mayor implantación en todo el mundo.

El diseño de la Afridev partió de investigaciones iniciadas en Malawi en 1981, después de modelos preliminares como la bomba Maldev se llegó a este diseño que se configuró definitivamente en Kenia en 1983 (Prakash 1995). Es una tecnología que, con el fin de reducir la fuerza necesaria en el bombeo, esta fundamentada en una carrera de pistón larga en relación al resto, junto con un diámetro pequeño del cilindro, que facilita el mantenimiento, simplificando la adquisición de repuestos. Además fija un diámetro de 50 mm del cilindro con independencia de la profundidad de trabajo, variando la ventaja mecánica de la manivela para compensar las mayores fuerzas que son necesarias de introducir según se aumenta esa altura de bombeo, siendo de 3:1 desde los 12 a los 30 metros y de 4,5:1 a partir de los 30 metros. Presenta más condiciones que aseguren el mantenimiento por una comunidad, incluyendo una válvula de pie accesible desde la superficie y tramos de varillaje y de tubería de elevación desmontables sin herramientas (Martín-Loeches M. 2005). Tolera aguas agresivas y arenas abrasivas (Duncan, Colin 1996).

El diseño de la bomba manual India Mark II se realizó en 1977 (UNICEF 1999), en India con la colaboración de UNICEF, después de un gran éxito debido a sus prestaciones evolucionó a partir de 1981 hasta que quedo configurado el modelo III que se recoge en la figura 3.3.11, que respecto al anterior permite un mantenimiento y reparación más sencillos, ya que no es necesario extraer del pozo el cilindro para cambiar el pistón o la válvula de pie, al contrario que con el modelo II, que no cumplía por estos motivos las exigencias de una instalación VLOM (Samanta B.B. 1986). A diferencia de la Afridev, emplea una carrera de pistón menor, con un diámetro de cilindro mayor de 63,5 mm, con lo



que la fuerza requerida en la varilla es superior, por lo que la manivela necesita generar una ventaja mecánica de 8:1. No es resistente a la corrosión en zonas de agua agresivas, con  $\text{pH} < 6,5$  (Krishna S. 1985).

**Figura 3.3.10.** Bomba Afridev (Baumann E. and Keen 1994)

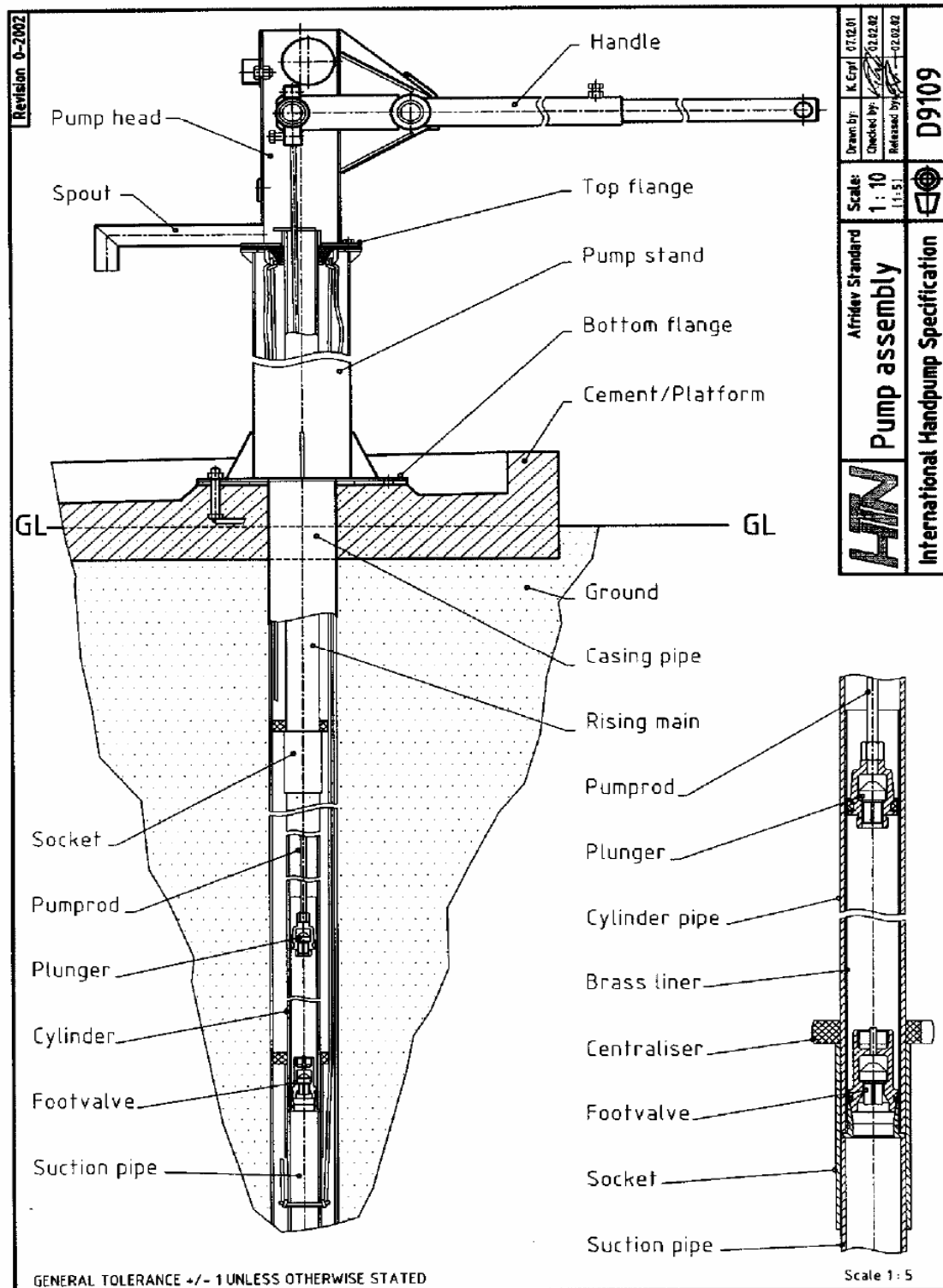
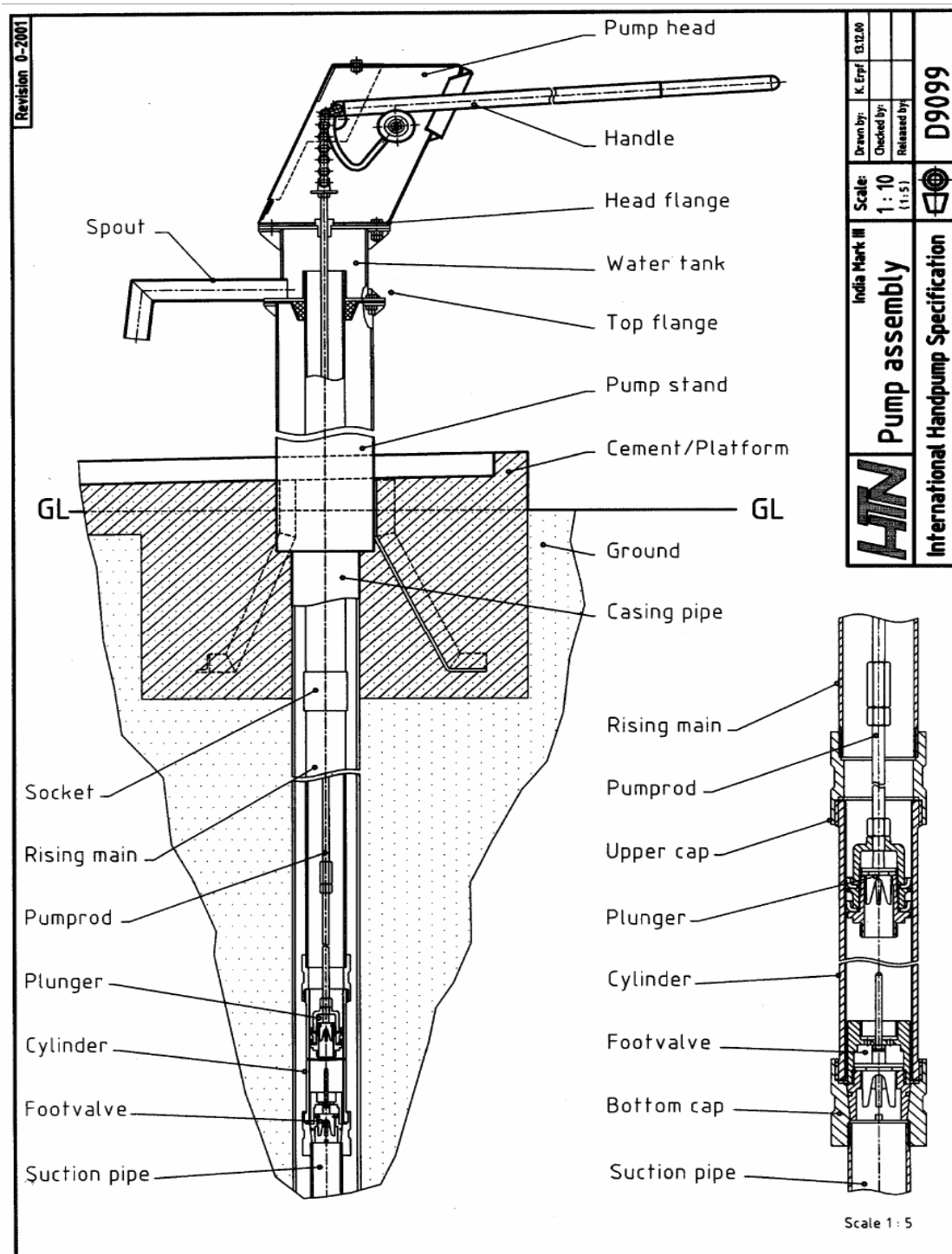


Figura 3.3.11 Bomba Indian Mark III (Baumann 2000)



Además de estos dos modelos fundamentales, se han desarrollado otros con similitudes notables, pero que no han alcanzado la estandarización y la extensión de los dos mencionados. Dentro de estos otros modelos merece la pena mencionar la bomba U3M que es una mezcla de las dos principales o la bomba Bush.

Los valores típicos de los parámetros de funcionamiento de las bombas de pistón vienen recogidos en la tabla 3.3.1 siguiente. En esta tabla hemos recogido los valores proporcionados por los distintos organismos internacionales más especializados como el banco mundial o la SKAT, así como algunos de los muchos que proporcionan las empresas dentro de este ámbito, como las empresas indias MEERA, COOWAP o BALATJI o la inglesa SKI. Como se puede comprobar hemos incluido los parámetros que hasta ahora dentro de este estudio ya valoramos como fundamentales como la potencia exigida, la fuerza empleada, la profundidad de bombeo, el caudal extraído, la carrera del pistón y su diámetro de cilindro o el rendimiento aproximado del equipo.

**Tabla 3.3.1** Valores experimentales de los parámetros básicos de las diferentes bombas de pistón para distintos organismos internacionales

Tipo	Nombre	Altura bombeo (m)	Caudal (l/min)	Potencia (W)	Rendimiento	Fuerza máxima (Kg-f)	Diámetro cilindro (mm)	Carrera (mm)	Fuente
succión	No 6	5	75	75	81,6		89	215	SKAT
succión	No 6	7	36	60	68,6	14	89	215	BM
succión	Bandung	7	29	47	70,5	16			BM
acción directa	Tara	10	30	75	65,3		54	600	SKAT
acción directa	Nira AF85	10	24	85	46,1	24			BM
acción directa	Nira AF85	10	30	75	65,3		53	400	SKAT
acción directa	Malda	10	30	75	65,3		50	410	SKAT
acción directa	Tara	15	23	97	58,0	35			BM
acción directa	Tara	15	20	75	65,3		54	600	SKAT
acción directa	Nira AF85	15	20	75	65,3		53	400	SKAT
acción directa	Malda	15	20	75	65,3		50	410	SKAT
pozo profundo	Afridev	20	15	75	65,3		50	225	SKAT
pozo profundo	U3M	20	13	75	56,6		50	150	SKAT
pozo profundo	Indian Mark II	25	12	92	53,2	20			
pozo profundo	Indian Mark II	25	15	75	81,6		63,5	125	SKAT
pozo profundo	Indian Mark III	25	15	75	81,6		63,5	127	SKAT
pozo profundo	Bush	25	13	75	70,7		75	225	SKAT
pozo profundo	Jetmatic	25	11	69	65,0	7			BM
pozo profundo	Kardia	25	16	80	81,6	11			BM
pozo profundo	Korat	25	14	106	53,9	20			BM
pozo profundo	Indian Mark II	30	13	75	84,9		63,5	125	SKAT
pozo profundo	Indian Mark III	30	13	75	84,9		63,5	127	SKAT
pozo profundo	Afridev	30	12	75	78,4		50	225	SKAT
pozo profundo	U3M	30	10	75	65,3		50	150	SKAT

Tipo	Nombre	Altura bombeo (m)	Caudal (l/min)	Potencia (W)	Rendimiento	Fuerza máxima (Kg-f)	Diámetro cilindro (mm)	Carrera (mm)	Fuente
pozo profundo	Bush	30	12	75	78,4		75	225	SKAT
pozo profundo	Kardia	40	16	128	81,6	18			BM
pozo profundo	Afridev	45	11	100	80,85		50	234	BM
pozo profundo	Jetmatic	45	11	115	70,3	11			BM
pozo profundo	Korat	45	14	133	77,3	28			BM
pozo profundo	Afridev	10	26						COWAP
pozo profundo	Afridev	15	20						COWAP
pozo profundo	Afridev	20	18						COWAP
pozo profundo	Afridev	25	15						COWAP
pozo profundo	Afridev	30	12						COWAP
acción directa	NIRA AF85	5	40						COWAP
acción directa	NIRA AF85	10	26						COWAP
acción directa	NIRA AF85	15	20						COWAP
pozo profundo	Malda	15	39,1666667						MEERA
pozo profundo	Afridev	15	22,5						MEERA
pozo profundo	India Mark V	45	17,25						MEERA
pozo profundo	India Mark IV	45	15						MEERA
pozo profundo	India Mark III	15	19,1666667						MEERA
pozo profundo	India Mark IV	15	19,1666667						MEERA
pozo profundo	Afridev	15	22,5						SKI
acción directa	Tara	7	23,3333333						SKI
acción directa	Tara	15	23						SKI
pozo profundo	India Mark II	16	15						SKI
pozo profundo	India Mark III	16	15						SKI

#### 3.3.2.6 Recopilación y análisis de resultados experimentales

A partir de aquí vamos a tratar de aplicar lo concluido en apartados anteriores para definir unos valores de referencia que permitan delimitar qué regímenes de funcionamiento experimentales de este tipo de bombas se pueden denominar como razonables y cuales otros no, ya sea por un caudal insuficiente, por esfuerzos excesivos o por otros condicionantes técnicos o tecnológicos. Para ello, partiendo de la tabla 3.3.1 consideraremos valores de referencia para dimensionar el equipo, los rangos de altura de bombeo descritos de 7 a 45 metros. Se trata de construir un modelo experimental que aproxime el caudal extraíble por una instalación de bombeo para cada potencia aplicada y para cada profundidad, con un rendimiento determinado. Estas variables se relacionan de la forma:

$$Q_{\text{típico}} = \frac{\dot{W}_{\text{bombeo}} \eta_{\text{bomba}}}{\rho g h}$$

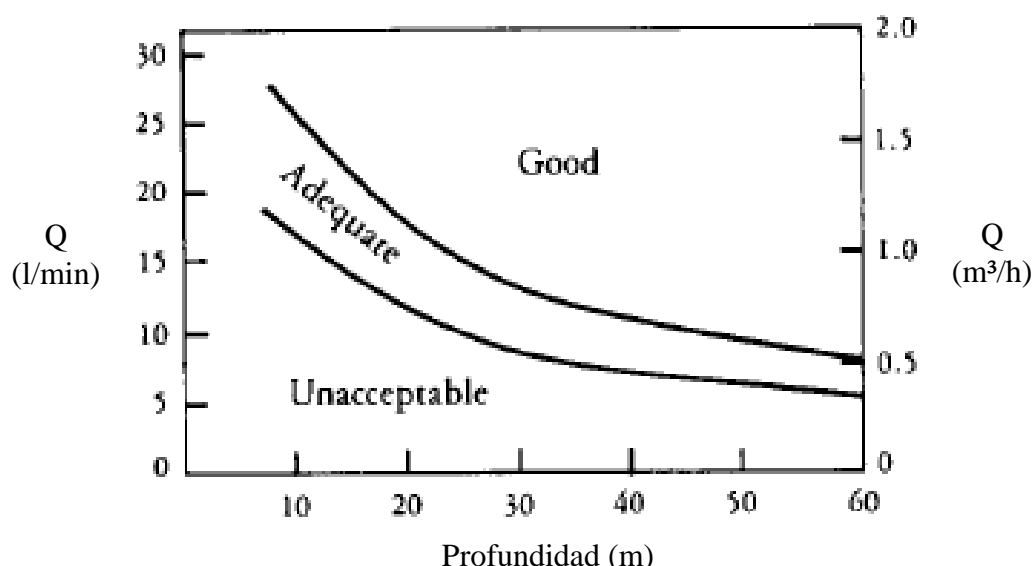
Basándonos en nuestras conclusiones para la estimación de la potencia desarrollable, en el punto 3.2 en la tabla 3.3.2, de una manera quizá excesivamente genérica pero con el objetivo de proporcionar unos valores aproximativos que sirvan de orientación, plantearemos que un caudal de descarga típico, estará basado en una potencia de 50W en sistemas de bombeo que funcionen a siete metros de profundidad, pudiendo alcanzar hasta los 70W a los 45 metros ya que como hemos comentado se ha demostrado que los usuarios desarrollan dentro de sus posibilidades mayores esfuerzos con tal de alcanzar caudales aceptables. Al mismo tiempo a partir de las conclusiones presentadas por el banco mundial en su estudio de laboratorio sobre más de 40 bombas manuales, recogeremos el rendimiento que definen como característico de estos equipos, para cada profundidad (The Handpump Option, BM 1987). Desde un rendimiento,  $\eta_{\text{bomba, BM}}$ , de valor del 45% para las instalaciones que trabajen a siete metros, que llega hasta el 70% para aquellas a 45 metros. Del mismo modo y siguiendo el planteamiento del mismo informe, incluiremos como referencia comparativa otro nivel de caudal medio de descarga como aquel que recoja un 50% más que el que hemos definido como típico. Todo está incluido en la tabla 3.3.2

**Tabla 3.3.2** Caudal típico esperado para distintas alturas de bombeo. Se incluye el rendimiento de los equipos según el BM y la potencia ergonómica característica para cada altura.

Altura de bombeo $h$ (m)	Potencia ergométrica $\dot{W}_{\text{bombeo}}$ (W)	$\eta_{\text{bomba, BM}}$	Caudal típico $Q_{\text{típico}}$ (l/min)	Caudal bueno $1,5Q_{\text{típico}}$ (l/min)
7	50	0,45	19,6592398	24,5740498
12	55	0,5	14,0163099	17,5203874
20	60	0,55	10,0917431	12,6146789
30	65	0,6	7,95107034	9,93883792
40	70	0,65	6,95718654	8,69648318
50	75	0,7	6,42201835	8,02752294

De esta manera construiremos un modelo experimental que nos facilitará el análisis de los datos proporcionados por los distintos grupos y organismos que presentan resultados de funcionamiento en sus instalaciones pudiendo valorar si entran dentro de lo razonable. En el estudio mencionado del banco mundial a través de las consideraciones que hemos comentado respecto a los rendimientos presentados y las definiciones de caudal típico y de caudal bueno, se construyó el gráfico 3.3.2.

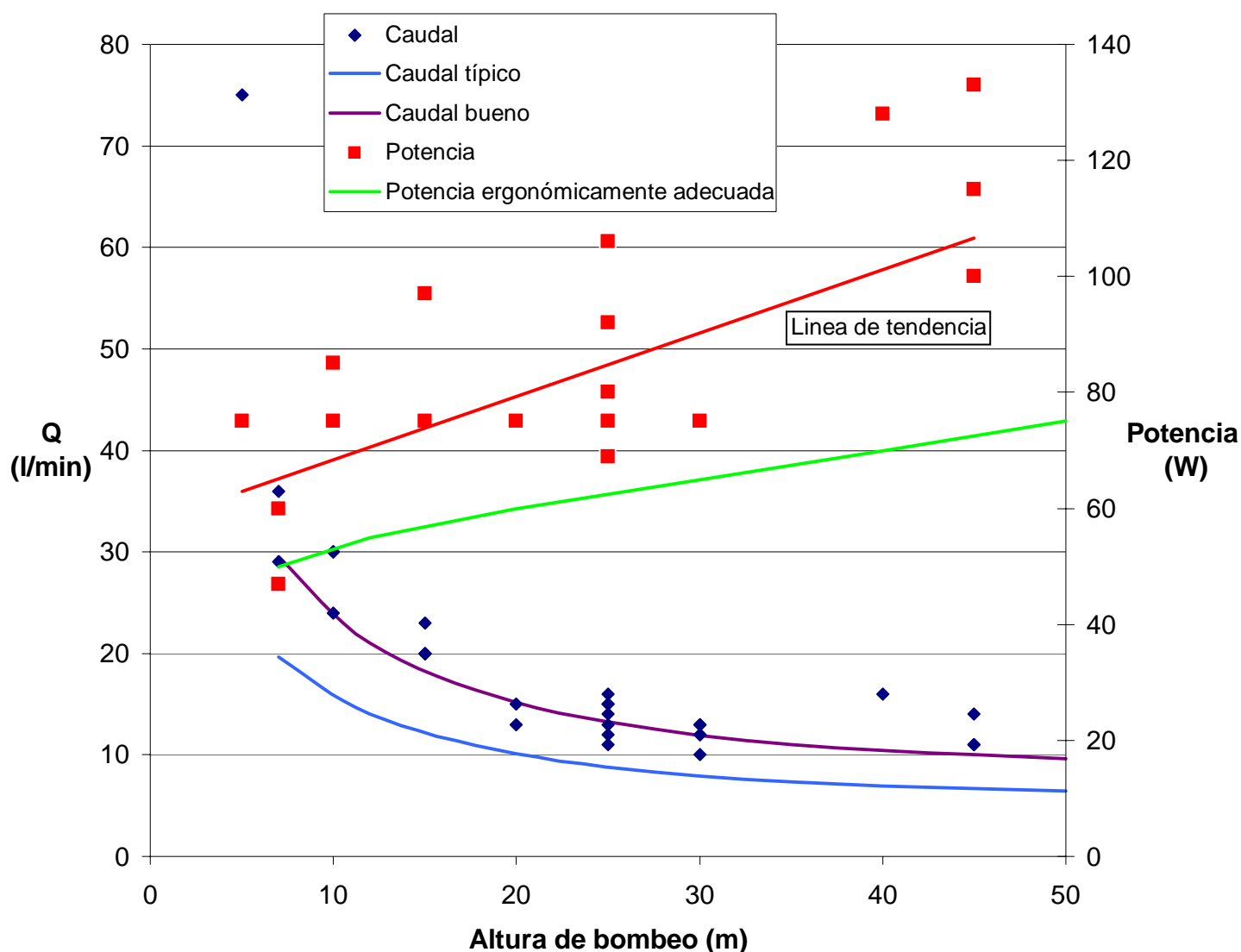
**Gráfico 3.3.2.** Definición de la variación del caudal extraído aceptable y bueno, a distintas profundidades por una instalación de bombeo manual basada en el mecanismo de pistón, a partir de un estudio de 42 bombas (The handpump option BM 1987)



En la gráfica 3.3.3 siguiente se recogen conjuntamente los resultados que introduce la tabla 3.3.2 respecto al caudal típico y a un buen caudal, además de la potencia ergométrica para distintas alturas de bombeo. También se ha incluido los datos experimentales ofrecidos por el Banco Mundial y la SKAT que se presentan en la tabla 3.3.1, relacionados con la potencia desarrollada y el caudal recogido en sus pruebas.

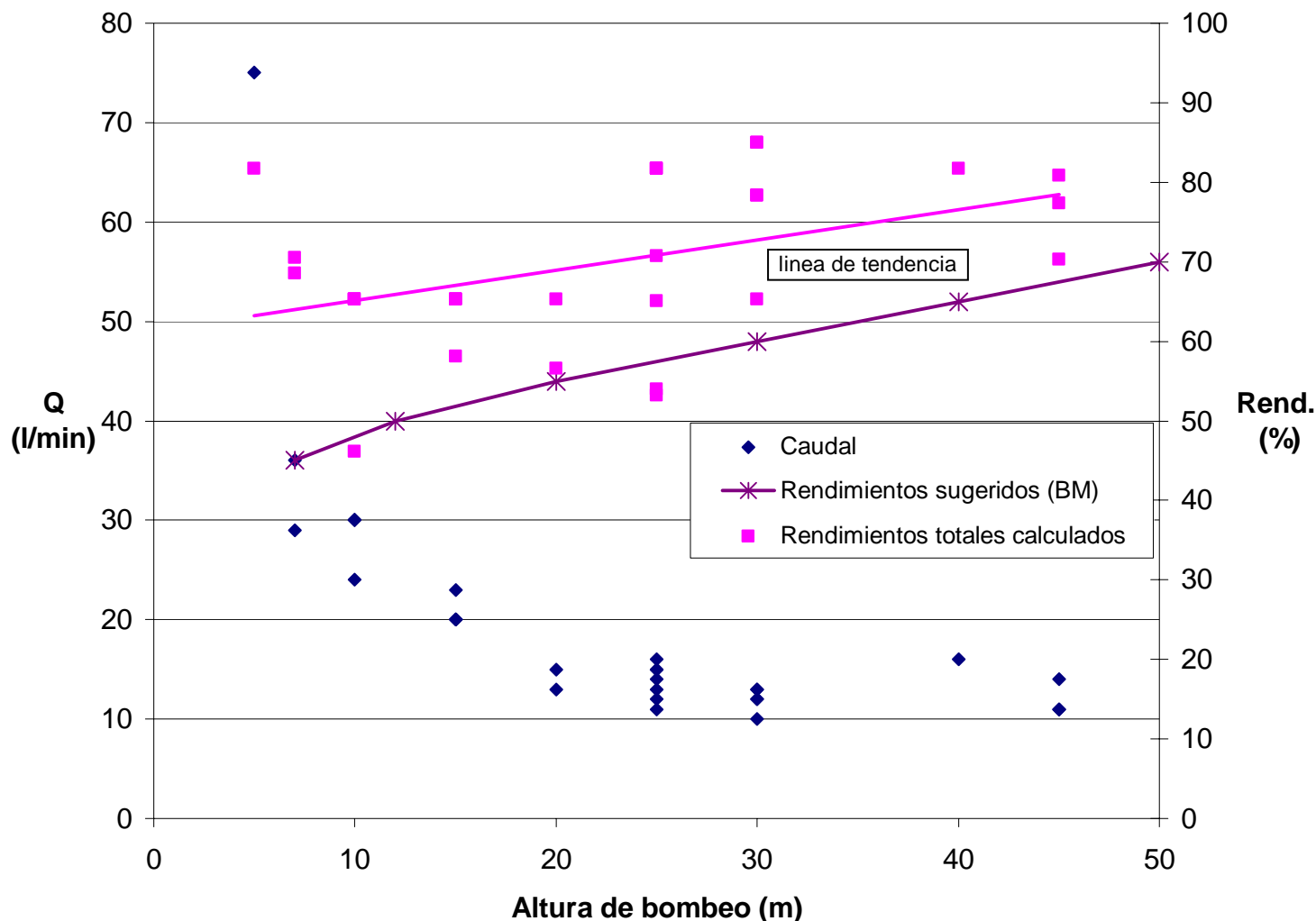
Podemos observar en el gráfico que los caudales recogidos en las pruebas experimentales son notablemente superiores al caudal que hemos calculado como típico para cualquier profundidad. Como la misma gráfica nos permite observar, esto es debido principalmente a la potencia introducida a la hora de accionar los equipos. En las pruebas con bombas manuales presentadas por el BM y la SKAT, se ha trabajado suponiendo que la potencia desarrollada por los usuarios es bastante superior a la que la ergometría valora como razonable y que hemos empleado para estimar un caudal típico. Si comparamos la línea de tendencia de las potencias que se ha empleado el BM con la potencia ergométrica, vemos que existe entre ambas una diferencia de entre 10 y 25 W. Solo a través de un cálculo más razonable y exacto de la potencia que desarrollarán los usuarios del equipo podremos llegar a dimensionar adecuadamente la capacidad del equipo de bombeo para el abastecimiento de agua.

**Gráfico 3.3.2.** Contraste de los datos experimentales de caudal y potencia presentados por el BM y la SKAT recogidos en la tabla 3.3.1, frente a los calculados a nivel teórico de la tabla 3.3.2, para distintas condiciones de altura de bombeo



En esta misma línea en el gráfico 3.3.4 se comparan los rendimientos característicos a cada profundidad de bombeo, presentados en el estudio del BM sobre 42 bombas que se recogen en la tabla 3.3.2 y los resultados prácticos que se presentan para cada bomba en la tabla 3.3.1. De nuevo si contrastamos la línea de tendencia de los rendimientos de las bombas con los rendimientos sugeridos por el banco mundial, vuelve a existir diferencia entre ambos, ya que en los datos presentados para cada bomba en la tabla 3.3.1 se ha trabajado con potencias por encima de lo ergonómicamente razonable. En todo caso se observa que las bombas de pistón con el aumento de la altura de bombeo incrementan su rendimiento. Esto es debido principalmente a que los equipos que han de trabajar a mayores profundidades presentan una tecnología más desarrollada, con materiales más ligeros y con pérdidas inferiores.

**Grafico 3.3.4** Contraste de los datos experimentales de rendimiento presentados por el BM y la SKAT recogidos en la tabla 3.3.1, frente a los calculados a nivel teórico de la tabla 3.3.2, para distintas condiciones de altura de bombeo



Este estudio nos facilitará en cada momento contrastar la información relacionada con el empleo de estas bombas y averiguar hasta que punto los datos de una empresa o una organización determinada se pueden considerar como razonables. También nos permitirá comprobar hasta que punto los nuevos sistemas de bombeo manual logran en estas condiciones de esfuerzo y profundidad consideradas logran implementar mejores resultados que los alcanzados hasta ahora dentro del marco VLOM.

Queda claro cuál es el campo de funcionamiento de estos sistemas de bombeo manual con respecto a la profundidad de bombeo. A partir de los 40-45m el caudal que se puede extraer es insuficiente requiriendo además esfuerzos que ya hemos planteado inaccesibles en este ámbito de actuación. Como se comprueba en los gráficos, a alturas de bombeo de este orden, solo introduciendo potencias sobredimensionadas se pueden recoger los datos planteados por los organismos en la tabla, por lo que será aconsejable desechar aquella información proporcionada sin especificar que potencia se ha introducido en el estudio.



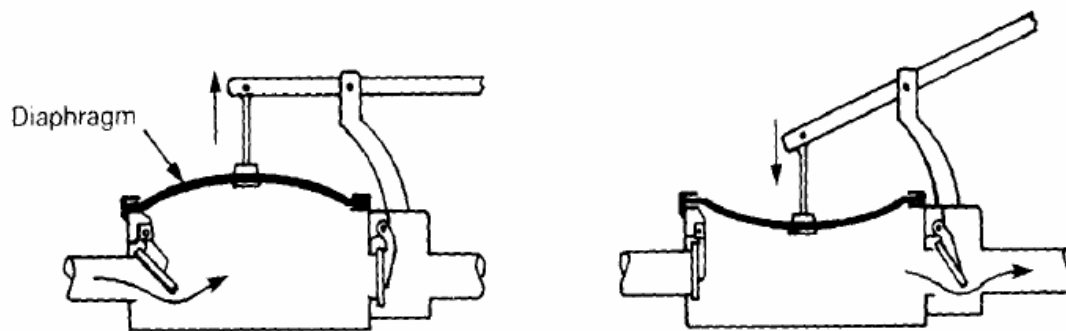
### 3.3.3 Bombas de diafragma

Otro tipo de bomba de desplazamiento positivo que hemos introducido en la sección primera de este capítulo es la bomba de diafragma. Se estima que se comenzó a emplear a partir del año 1730, y su mecanismo se ha usado ampliamente en las bombas de combustible. Actualmente se emplea en varios tipos de bombas manuales.

#### 3.3.3.1 Principio de funcionamiento

Esta bomba está fundamentada en el movimiento de una membrana elástica en contacto con un volumen provisto de dos válvulas antirretorno tal y como se muestra en la figura 3.3.11. Al elevarse esta membrana o diafragma el agua es absorbida a través de la válvula de entrada a la izquierda, a continuación, como se observa en la parte derecha de la figura, se acciona el diafragma en sentido opuesto, forzando al comprimir el espacio interior el cierre de la válvula izquierda y la apertura de la que se sitúa a la derecha que permitirá la salida del agua.

**Figura 3.3.11** Mecanismo de una bomba de diafragma



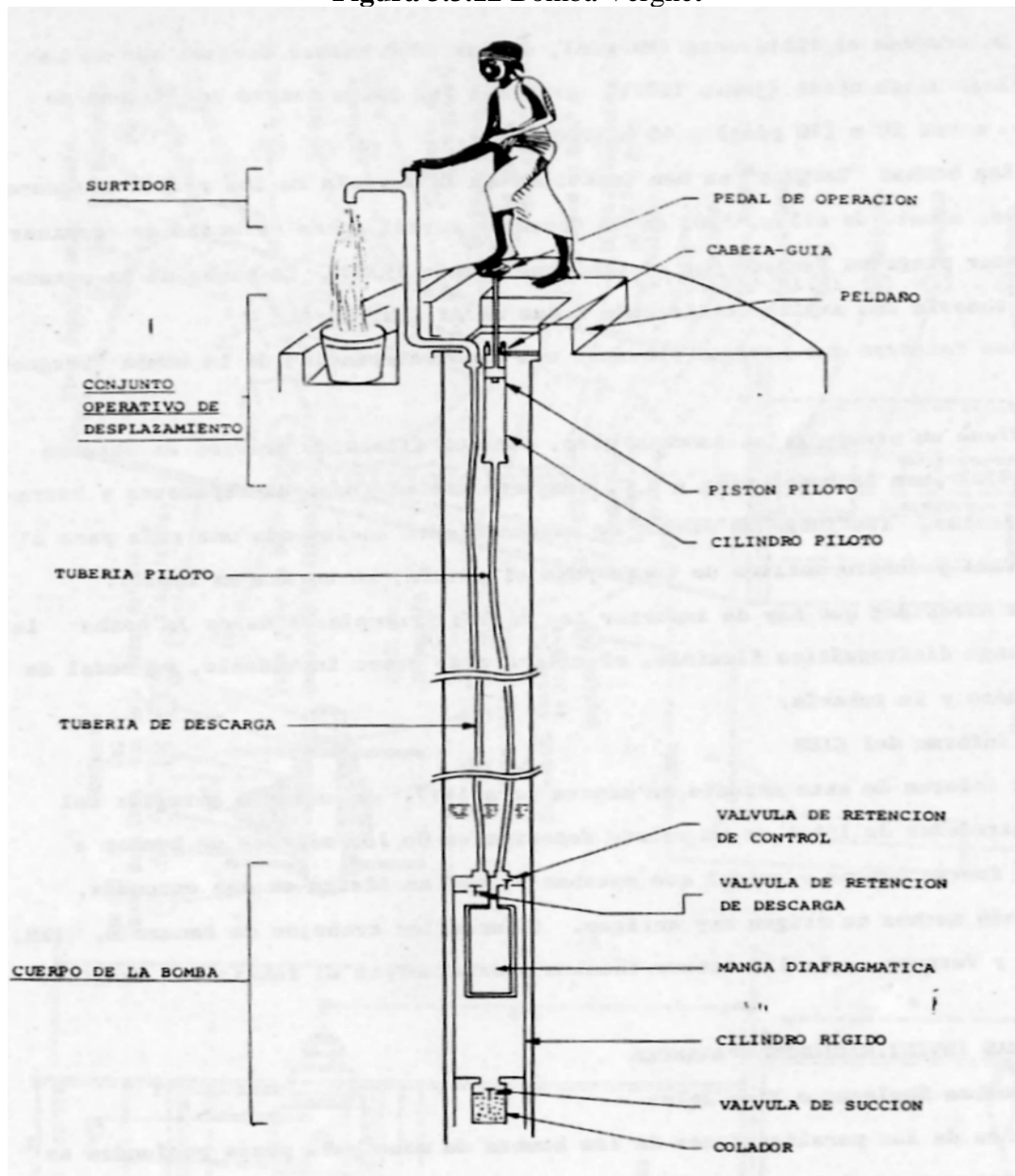
El empleo del diafragma en las bombas manuales presenta ventajas frente a los dispositivos de pistón. El sellado es mayor, presenta una eficiencia mecánica superior ya que el movimiento del diafragma implica mucha menos fricción que el desplazamiento del pistón en el cilindro, no posee una varilla como la del mecanismo de pistón, con lo que se eliminan los problemas derivados de su sellado y las pérdidas respectivas por fricción y es más resistente frente a aguas más agresivas (aquellas que contienen arenas o barro). Por el contrario existen notables desventajas, tanto por el precio de los materiales que componen estas bombas, como por lo complicado de su mecanismo, que exige unos conocimientos más allá de lo que los criterios VLOM aconsejan. Además no pueden ser empleadas en pozos tan estrechos como las bombas de pistón y su altura de bombeo efectiva es menor ya que no alcanza a desarrollar presiones tan altas.

Existen diferentes bombas manuales cuyo funcionamiento está fundamentado en este mecanismo. Las más empleadas son la Vergnet y la Abi-ASM que detallaremos a continuación.

### 3.3.3.2 Bombas Vergnet

Es una bomba manual de diafragma en la que se acciona mediante un pedal y un pistón asociado a él, como se recoge en la figura 3.3.12. El diafragma se sitúa dentro de un cilindro rígido en el interior del pozo de tal manera que su estiramiento y contracción provocará el bombeo desde el cilindro a la superficie. Al pisar el usuario el pedal, el pistón en su bajada rellena la membrana estirando sus paredes flexibles e incrementando así la presión dentro del cilindro rígido. Esta presión obliga al cierre de la válvula inferior de succión y abre la de descarga facilitando que el agua suba a la superficie a través de la tubería de descarga. A continuación el usuario retirará la presión sobre el pedal, con lo que se contrae la membrana elástica, reduciendo la presión dentro del cilindro rígido y provocando de esa manera el cierre de la válvula de descarga y abriendo la de succión que permitirá la entrada de agua desde el pozo al cilindro rígido.

Figura 3.3.12 Bomba Vergnet





Esta bomba además de todas las características comentadas cuenta respecto a las instalaciones de bombeo manual basadas en el mecanismo de pistón con la ventaja de ser accionada con el pie con lo que se podrá emplear una mayor fuerza, y desarrollar una potencia superior. Además puede ser extraída completamente del pozo fácilmente, de manera manual.

### 3.3.3.3 Bombas Abi-ASM

Estas bombas son una combinación de la anterior, la Vergnet y los mecanismos de acción de las bombas de pistón. Los sistemas fundamentados en el empleo de una palanca son preferidos por los usuarios a los que utilizan un pedal, aunque el esfuerzo requerido sea mayor. Así pues el funcionamiento de esta bomba es exactamente igual al de la anterior, la única diferencia reside en la estructura superficial del equipo que presenta las características que describimos para las bombas de pistón. A través de la palanca se elevará una varilla que accionará el pistón que rellena y vacía el diafragma como ya detallamos para la bomba Vergnet.

Los valores típicos de los parámetros de funcionamiento de las bombas de diafragma vienen recogidos en la tabla 3.3.3. En esta tabla hemos recogido los valores proporcionados por los distintos organismos internacionales más especializados como el banco mundial o la SKAT.

**Tabla 3.3.3** Valores experimentales de los parámetros básicos de las bombas de diafragma para distintos organismos internacionales

Tipo	Nombre	Altura bombeo(m)	Caudal (l/min)	Potencia (W)	Rendimiento	Fuerza máxima (Kg-f)	Fuente
Diafragma	Vergnet	7	10	59	15	47	BM
Diafragma	Vergnet	7	24	199	14	47	BM
Diafragma	Vergnet	45	5	51	57	76	BM
Diafragma	Vergnet	10	16.7	75			SKAT
Diafragma	Vergnet	15	15	75			SKAT
Diafragma	Vergnet	20	12,5	75			SKAT
Diafragma	Abi-ASM	7	10	82	14	20	BM
Diafragma	Abi-ASM	25	10	129	32	35	BM
Diafragma	Abi-ASM	45	10	175	43	45	BM

#### 3.3.3.4 Recopilación y análisis de resultados experimentales

Mediante estos valores de referencia presentados en la tabla 3.3.2 y recogiendo el análisis planteado para las bombas manuales de pistón vamos a intentar conocer cuál es la capacidad de las bombas basadas en el mecanismo de diafragma en el abastecimiento de agua. Para ello utilizaremos de nuevo la tabla 3.3.2 y definiremos un caudal típico. En esta ocasión deberemos añadir en esta tabla la modificación relacionada con el empleo de la potencia desarrollada a través del pedal, esto implicará un aumento en el caudal recogido, al contar con esfuerzos superiores. De esta manera la tabla habrá de recoger los valores previstos en ambas situaciones, tanto en el accionamiento mediante palanca empleado en la bomba de diafragma Abi-ASM, como el basado en el pedal característico de la Vergnet (Consumers 1983). La tabla 3.3.4 presenta este estudio, para su elaboración se han recogido las conclusiones del apartado 3.2 respecto al desarrollo de potencia de tal forma que para alturas de bombeo reducidas se plantea si se emplea una bomba manual de palanca, una potencia introducida en la tabla 3.2 como de 50W pudiendo alcanzar hasta 75W para profundidades de bombeo superiores. En el caso de bombas accionadas a pedal este esfuerzo se puede elevar desde los 75 W hasta los 100 W. Como ya se explicó para los sistemas de pistón estas potencias se consideran como referencia valorando que estas instalaciones deben estar preparadas para ser accionadas básicamente por usuarias que como ya se planteó alcanzan potencias de 50W empleando palancas o de 75W mediante pedaleo. El aumento de esta potencia introducida solo se justifica a alturas de bombeo elevadas, e implicará que no toda la población usuaria podrá alcanzar realmente a manejar estos equipos.

Además se ha mantenido el mismo planteamiento que el realizado para el análisis de las bombas de pistón para el resto de parámetros presentados.

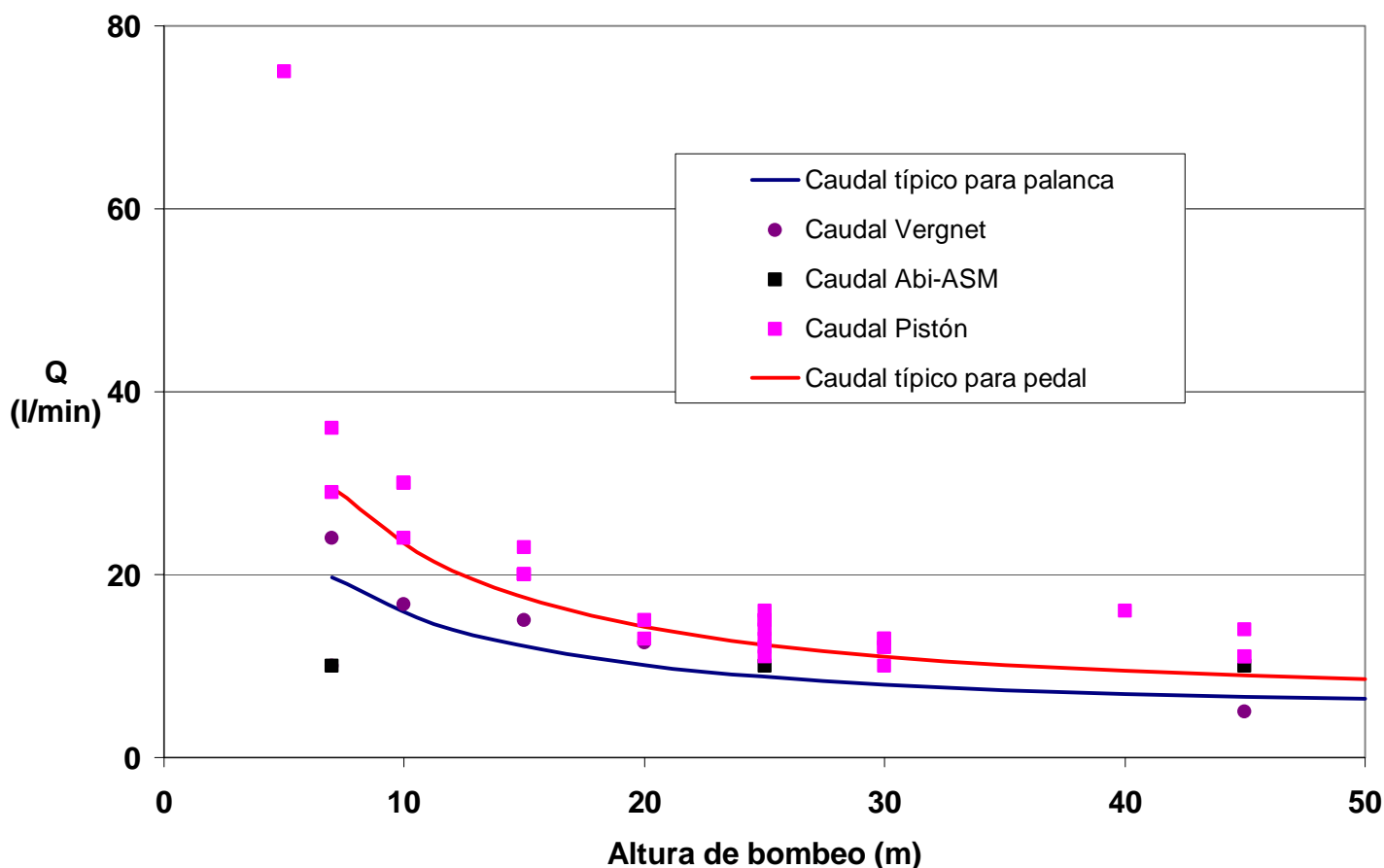
**Tabla 3.3.4** Caudal mínimo adecuado, medio y máximo para distintas alturas de bombeo. Se incluye el rendimiento y la potencia manual y en pedal, característica para cada altura.

Potencia ergométrica $\dot{W}_{\text{bombeo}}$ (W)	Tipo de bomba	$\eta_{\text{bomba, BM}}$	Altura de bombeo $h$ (m)	Caudal típico $Q_{\text{típico}}$ (l/min)
50	Palanca	0,45	7	19,6592398
75	Pedal	0,45	7	29,4888598
55	Palanca	0,5	12	14,0163099
80	Pedal	0,5	12	20,3873598
60	Palanca	0,55	20	10,0917431
85	Pedal	0,55	20	14,2966361
65	Palanca	0,6	30	7,95107034
90	Pedal	0,6	30	11,0091743
70	Palanca	0,65	40	6,95718654
95	Pedal	0,65	40	9,44189602
75	Palanca	0,7	50	6,42201835
100	Pedal	0,7	50	8,56269113

A partir de aquí estos valores de caudal delimitarán qué regímenes de funcionamiento experimentales de este tipo de bombas se pueden denominar como razonables y cuales otros no, ya sea por un caudal insuficiente, por esfuerzos excesivos o por otros condicionantes técnicos o tecnológicos.

Con esta información y como en el caso de las bombas manuales de pistón contrastaremos los valores teóricos de caudal presentados en la tabla 3.3.4 con los experimentales recogidos en la tabla 3.3.3. Comprobamos que el caudal experimental extraído para las bombas de pedal, que en teoría debería de ser superior al recogido por las bombas de pistón, está ligeramente por debajo. Esto es debido a que el rendimiento en las pruebas de laboratorio del BM de estos equipos es mucho menor al esperado. Aún así estos equipos de diafragma aseguran al menos los mismos regímenes de caudal que presentaba el otro mecanismo de pistón estudiado para profundidades intermedias, características de las bombas de pistón de acción directa. Por lo tanto aunque estos equipos puedan dar más de sí, su uso es interesante, ya que requieren menos esfuerzos en su empleo. Habrá que valorar todos los factores detallados para en cada situación respecto a hábitos culturales, repuestos, condiciones de profundidad del pozo, etc. para concluir si estas bombas de diafragma son más adecuadas o no que las de pistón, ya que ambas se pueden encuadrar dentro del criterio VLOM.

**Gráfico 3.3.5** Contraste de los datos experimentales de caudal, presentados por el BM y recogidos en la tabla 3.3.3, frente a los calculados a nivel teórico de la tabla 3.3.4, para distintas condiciones de altura de bombeo.



### 3.3.4 Bombas de cubo y cuerda

Este sistema de bombeo basado en un cubo vacío o una bolsa que se baja a un pozo mediante una cuerda, elevándolo lleno de agua posteriormente es uno de los sistemas más antiguos de la humanidad en el abastecimiento de agua. Aún así el difícil acceso a tecnologías de amplios grupos de población, las grandes diferencias que existen en el planeta en cuanto a desarrollo se refiere y la escasez de agua predominante, hacen que este sistema siga de máxima actualidad, siendo en muchas zonas de África uno de los más empleados.

La instalación es de mantenimiento sencillo, utilizando materiales y herramientas accesibles para cualquier comunidad. Las reparaciones más habituales consisten en el recambio del cubo, la cuerda o la rueda elevadora. Las cuerdas de nylon pueden llegar a durar dos años, mientras las de sogas apenas lo harán por unos meses. En ocasiones cada usuario empleará su cubo y cuerda. Aunque es muy frecuente, es una instalación que implica muchos riesgos de contaminación del agua del pozo, debido al contacto del cubo

con los usuarios y con la tierra exterior aunque cada vez más a menudo, la parte superior del pozo se encuentre protegida. Además la profundidad de bombeo es limitada ya que apenas es comparable al resto de sistemas de bombeo manual más allá de los diez metros, si queremos asegurar un caudal razonable para pozos comunales. Los parámetros de utilización más habituales de estos equipos están en la tabla 3.3.6 siguiente.

**Tabla 3.3.6** Parámetros de bombeo para un sistema de cubo-cuerda

Tipo	Altura bombeo(m)	Potencia (W)	Caudal (l/min)
Cuerda-cubo	10	75	15

### 3.3.5 Bombas de mecate

La bomba de mecate, que se ha desarrollado fundamentalmente en Nicaragua, ha generado un gran interés debido a su bajo costo, su alto rendimiento, su durabilidad y sus reducidas necesidades de mantenimiento. La bomba se basa en un diseño milenario que ha sido renovado a lo largo de las últimas décadas. Adecuada para ser usada a nivel comunitario o familiar, la bomba tiene un funcionamiento similar al de otras bombas más caras, como por ejemplo la Afridev y la India Mark II, a profundidades de aguas subterráneas de hasta 50 metros (Alberts H. 2000).

En Nicaragua el agua superficial generalmente está contaminada y existe un uso generalizado de aguas subterráneas a través de pozos familiares o comunales. A principios de los 80, un técnico belga desarrolló una variación del diseño clásico de la bomba de mecate para su uso en irrigación. Uno de los puntos claves para la rápida difusión de la bomba de mecate en Nicaragua ha sido su bajo costo, sumado a su confiabilidad y al poco mantenimiento que necesita. Un estudio realizado por el Banco Mundial en 1995 concluyó que el costo anual de mantenimiento de la bomba de mecate nunca superaba los \$10 (y de hecho fue menos de \$5 en todas menos una de las áreas estudiadas). En comparación, el costo de mantenimiento anual de las bombas en la India (predominantemente las bombas India Mark II) están en el rango de \$59 a \$107. El costo de instalación de la bomba de mecate también es significativamente menor que el de las bombas Afridev o India Mark II. El mismo estudio concluyó que en Nicaragua las bombas India Mark II se vendían por \$750 (siendo los precios de las bombas Afridev similares), mientras que la bomba de mecate equivalente se vendía por \$110. Las bombas importadas son más difíciles de instalar y mantener y dependen de repuestos importados, cuyo envío puede resultar problemático. Por lo tanto, en Nicaragua, para pozos con una profundidad menor de 60 m, se ha preferido la bomba de mecate antes que cualquier bomba importada. Además de su alto rendimiento, bajo costo y confiabilidad, la tecnología simple de la bomba de mecate implica que, considerando la limitada base manufacturera del país, la bomba puede ser producida y reparada localmente, lo que contribuye grandemente a su sostenibilidad.

Esta tecnología se conoce, según las traducciones en los diferentes idiomas occidentales, como *bomba de cuerda*, *rope pump*, o *pompe à corde*. En América Latina se adoptó la palabra cuerda según las tradiciones locales: *bomba de mecate*, en Nicaragua; *bomba de lazo*, en Guatemala; bomba de sogá, en Perú y Cuba. Actualmente se ha extendido desde Nicaragua, además de a Centroamérica, a zonas de África como Angola, Congo, Etiopía, Gambia, Ghana, Kenia, Madagascar, Mauritania, Mozambique, Senegal, Tanzania, Uganda, Zambia o Zimbabwe y a países asiáticos tales como Bangla Desh, Camboya, India, Laos, Papua Nueva Guinea o Vietnam (Van Berrs P. et al 2003).

### 3.3.5.1 Principio de funcionamiento

La bomba de mecate está definida por un recorrido cerrado entre la fuente de agua y la superficie, mediante una cuerda sinfín en la que se fijan pistones de goma u otro material, a intervalos determinados como se recoge en la figura 3.3.14 (Erpf 2005).

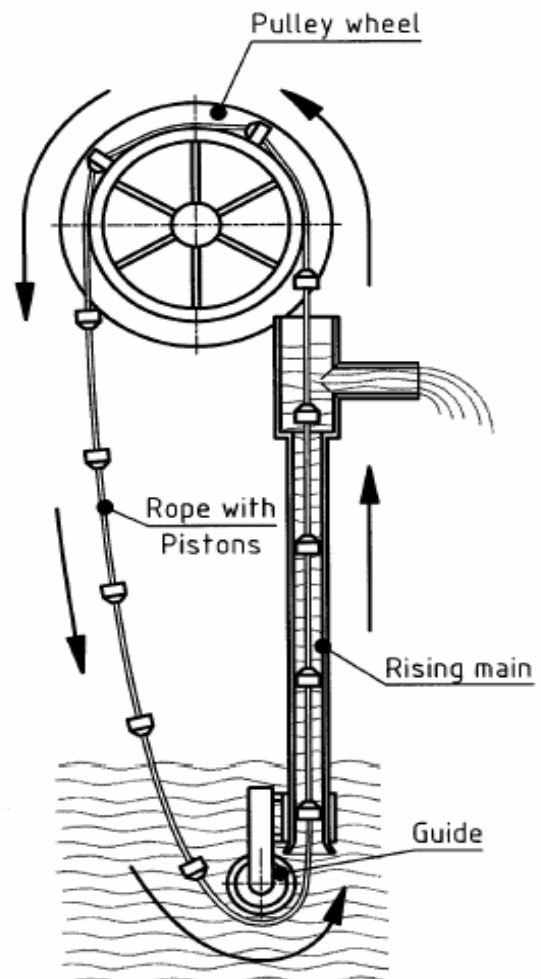
Al accionar la rueda que se encuentra en la parte superior de la estructura, su fricción con la cuerda hace que esta sea elevada por un tubo de subida, pase por esa rueda motriz y baje libre hasta la fuente de agua. En la parte inferior dentro del pozo, sumergido en el agua se coloca una guía que facilita la entrada de la cuerda y los pistones en el tubo de subida.

Entre los pistones y el diámetro interior del tubo de subida, generalmente de PVC, existe una holgura mínima para disminuir el desgaste de los pistones y el interior del tubo, el cual es irregular en dimensiones y rugosidad superficial.

Los pistones se mueven en una sola dirección y, cuando llegan arriba, el agua bombeada se desvía hacia el usuario a través de un surtidor como, por ejemplo, el de la figura.

Al accionar la rueda motriz, los pistones que ascienden por dentro de la tubería van elevando la columna de agua que queda recogida entre pistones, de tal forma que al mismo tiempo que en su carrera de subida por el tubo un pistón eleva esa columna de agua situada sobre su parte superior, en la entrada al tubo de subida los pistones succionan la columna de agua situada en su parte inmediatamente inferior. Esa succión se

**Figura 3.3.14** Bomba de mecate





produce a raíz de una depresión importante en esa zona provocada por el movimiento ascendente del pistón. Existen diferentes modelos de bombas de sogá, pero todos tienen el mismo principio de funcionamiento (Bérriz L. 1996, CITA 1997).

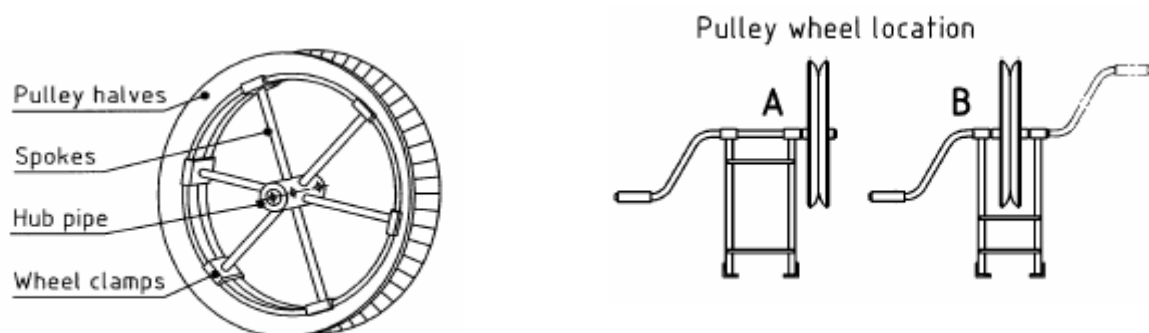
#### 3.3.5.2 Partes fundamentales de la estructura de la bomba

La bomba de mecate ha experimentado transformaciones importantes en cada país en función de las posibilidades tecnológicas y la capacidad productiva de cada lugar. Aún así se ha procurado un diseño que integre la fusión de piezas estandarizadas por la industria y el comercio contemporáneos, con elementos concebidos en las comunidades a partir de los procesos de soldadura, fundición y otros, que permiten disminuir los costos y facilitar la intercambiabilidad de sus componentes.

Como podemos ver en la figura 3.3.14 y en la 3.3 (Pág. 49) los componentes fundamentales de esta bomba serán: la rueda o polea motriz, la base de apoyo de esta, el tubo de subida, los pistones, las guías tanto la inferior como las superiores y la cuerda, mecate o sogá.

##### 3.3.5.2.1 Rueda o polea motriz

Se elabora tanto en madera como en metal. Muchas veces se emplea la parte interna de un neumático de automóvil revestida de goma, diseñado de tal forma que favorezca la fricción entre la cuerda y la polea. Además se emplean unos radios similares a los de las ruedas de bicicleta para unir la rueda a la manivela que se sitúa en su centro tal y como se ve en la figura 3.3.15 izquierda (Erpf 2005). Esta manivela se fija mediante bujes o cojinetes que permiten la rotación de la polea al ser accionada por el usuario, facilitando un empleo ergonómico. Las manivelas pueden ser simples o dobles, o estar conectadas a otros sistemas de accionamiento, ya sea un motor, un molino de aire, un animal de tiro o una bicicleta que permita incrementar o facilitar el esfuerzo introducido.



**Figura 3.3.15** Rueda o polea motriz de la bomba de mecate

Además esta polea la situaremos sobre una estructura o base sobre el pozo, construida de madera o perfiles metálicos, como los de la figura 3.3.15 derecha.

### 3.3.5.2.2 Tubo de subida

La tubería de subida debe ser de PVC o manguera plástica (CITA 2001). El diámetro a utilizar depende de la profundidad. Hemos de tener en cuenta de nuevo, que el sistema no debe de requerir la realización de esfuerzos prolongados superiores a los resumidos en la tabla 3.2.8 y que a mayores diámetros la columna de agua elevada será mayor, con lo que la fuerza necesaria también ira en aumento. Además el diseño de los pistones exige que el peso nunca sea superior a los 10 kg. Por lo tanto para que este peso de la columna no se incremente, iremos reduciendo el diámetro del tubo de subida de tal manera que los caudales extraídos sean razonables para el abastecimiento de agua, tal y como se plantea en la tabla 3.3.7 proporcionada por varias empresas diseñadoras (BOMESA) según los estándares ASTM D-2241 para tuberías de PVC para agua potable bajo presión. A partir de los 40 metros de bombeo esta reducción del diámetro deja de ser eficaz, ya que implicaría la elevación de caudales mínimos, con lo que para compensar el mayor peso de la columna que sobrepasará los 10 kg al trabajar a mayores profundidades manteniendo un diámetro de tubería de subida constante, será necesario un diseño diferente de los pistones, con materiales más resistentes y la instalación además de manivelas dobles que permita que el accionamiento del sistema manual sea realizado por dos personas al mismo tiempo, como el de la polea B de la figura 3.3.15 derecha. Las condiciones de esfuerzo a esta profundidad en este tipo de instalaciones, también estarán por encima de lo que puede desarrollar un solo usuario por lo que es imprescindible un diseño que facilite la introducción de potencias mayores, ya sea mediante estas manivelas dobles, o a través de mecanismos alternativos que permitan desarrollar esfuerzos superiores, como la instalación de una polea accionada mediante pedaleo como la de la figura 3.2.4 en vez de la habitual impulsada con los brazos (CITA 2001).

**Tabla 3.3.7** Valores del diámetro de las tuberías de subida y bajada en función de la profundidad de bombeo en una bomba de mecate (CITA 2001)

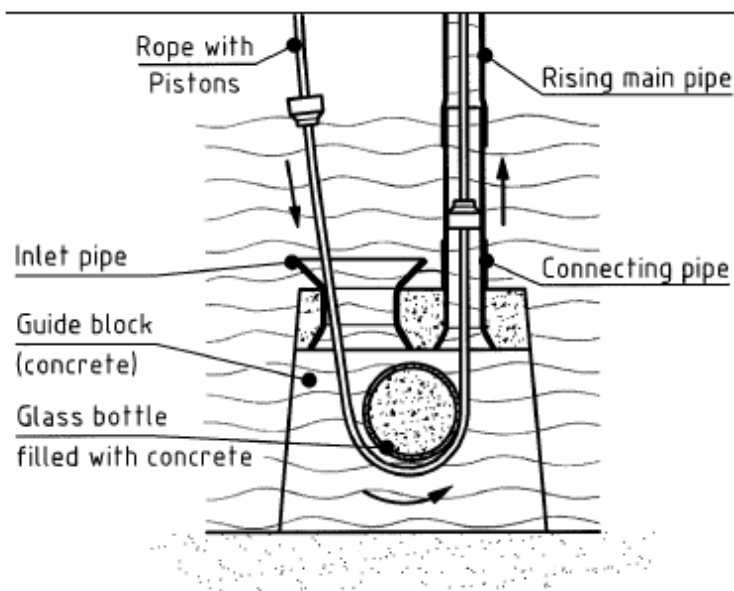
Altura de bombeo	0-6m	0-10m	10-20m	20-40m	>40m
Diámetro del tubo de subida	Ø 5.0 cm	Ø 3.2 cm	Ø 2.5 cm	Ø 2.0 cm	Ø 2.0 cm
Diámetro de tubo de bajada	Ø 6.3 cm	Ø 5.0 cm	Ø 5.0 cm	Ø 3.2 cm	Ø 3.2 cm

En esta tabla 3.3.7 hemos introducido además de los valores típicos de la tubería de subida descrita, los correspondientes a la tubería de bajada que se instala en aquellas bombas en las que el pozo de bajada es demasiado estrecho. Siempre tendrá mayor diámetro que el de subida ya que su única misión es guiar la cuerda en su carrera de bajada y evitar el deterioro de los pistones al toparse con las irregularidades de la pared del pozo.

### 3.3.5.2.3 Guías

En la parte inferior de la estructura de la bomba, dentro del pozo, y sumergida en el agua se sitúa la guía inferior tal y como se ve en la figura 3.3.16 izquierda (Erpf 2005). Esta guía facilita que la cuerda con los pistones entren de manera fluida en el tubo de subida con la menor fricción posible (Montecinos 1997). La pieza donde gira la cuerda dentro de esta guía suele ser una pequeña botella de vidrio o una cerámica esmaltada en las bombas más desarrolladas, como la que se observa en la figura 3.3.16 inferior derecha.

En la parte superficial de la bomba, en aquellas instalaciones que requieran tubo de bajada debido al reducido diámetro del pozo se colocará una guía superior como la de la figura 3.3.16 superior derecha, para guiar a la cuerda hacia la entrada de esta tubería, eliminando fricciones innecesarias.



**Figura 3.3.16.** Guía inferior (esquema izquierdo y fotografía inferior derecha). Guía superior (fotografía superior derecha).



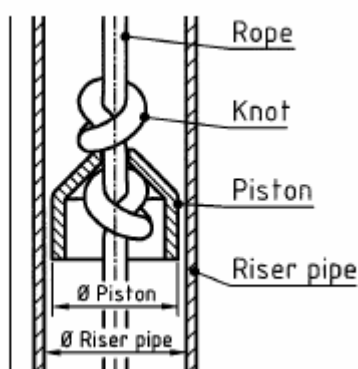
### 3.3.5.2.4 Pistones

A lo largo de la cuerda o soga se disponen piezas de goma, madera dura o plástico, que se comportan como pistones al elevarse a través del tubo de subida que realiza la función de cilindro. Estos pistones pueden tener diversos diseños, los más habituales debido a su eficiencia en la elevación de agua son los contruidos en forma de campana o cono, con su periferia flexible y un centro rígido tal y como el que se muestra en el esquema de la figura 3.3.17 izquierda. Estos pistones deben de permitir una holgura entre su diámetro exterior y el diámetro interior de la tubería de subida para evitar que la fricción

difículte en exceso, el recorrido de la cuerda en su ascenso, la diferencia más recomendada entre diámetros es de entre 0,5 y 1mm (Haemhouts 1991).

Cada pistón se fija a la cuerda con dos nudos, uno en la parte delantera del cono y otro justo a continuación tal y como se ve en la fotografía de la figura 3.3.17 derecha (Montecinos A. 1998). La separación entre cada pistón a lo largo de la cuerda influirá en la eficiencia del sistema, de tal forma que si la separación entre pistones aumenta, también lo hará la altura de la columna de agua elevada por cada pistón con lo que la fricción en el ascenso correspondiente y las pérdidas relacionadas serán mayores con lo que habrá más pérdidas y se reducirá el rendimiento de la instalación. Por otro lado al disponer los pistones más cerca uno del otro se incrementará la cantidad del agua elevada y por lo tanto también lo hará el esfuerzo relacionado con la elevación del agua. Los resultados experimentales plantean que por cada metro de cuerda se coloque un pistón, incrementando esta distancia si aumenta la profundidad de trabajo, para reducir la potencia necesaria en la elevación, al metro y medio o a los dos metros para las instalaciones más profundas de más de 30 metros de altura de bombeo. Al mismo en estos equipos que trabajan a mayores profundidades se puede reducir la holgura entre los diámetros del pistón y la tubería de subida de tal forma que reduzcamos las pérdidas siempre y cuando el aumento del esfuerzo requerido en el accionamiento de la máquina, para esta modificación, no rebase los límites de potencia humana razonables, tal y como ya los describimos en la sección 3.2.

**Figura 3.3.17** Esquema de la disposición de un pistón en la cuerda dentro de la tubería de subida (izquierda). Fotografía de un pistón de una bomba de mecate (derecha) (Erpf 2005).



#### 3.3.5.3 Recopilación y análisis de resultados experimentales

Como para los anteriores equipos de bombeo manuales, a continuación vamos a presentar la información que proporcionan los organismos internacionales que trabajan con bombas de mecate y la contrastaremos de nuevo tanto con lo teóricamente razonable tal y como está planteado en anteriores apartados, como con la relacionada con las otras bombas manuales analizadas. En la tabla 3.3.8 se resumen los parámetros de funcionamiento que consideramos como fundamentales en el empleo del bombeo manual para las bombas de mecate, cuerda o sogá.

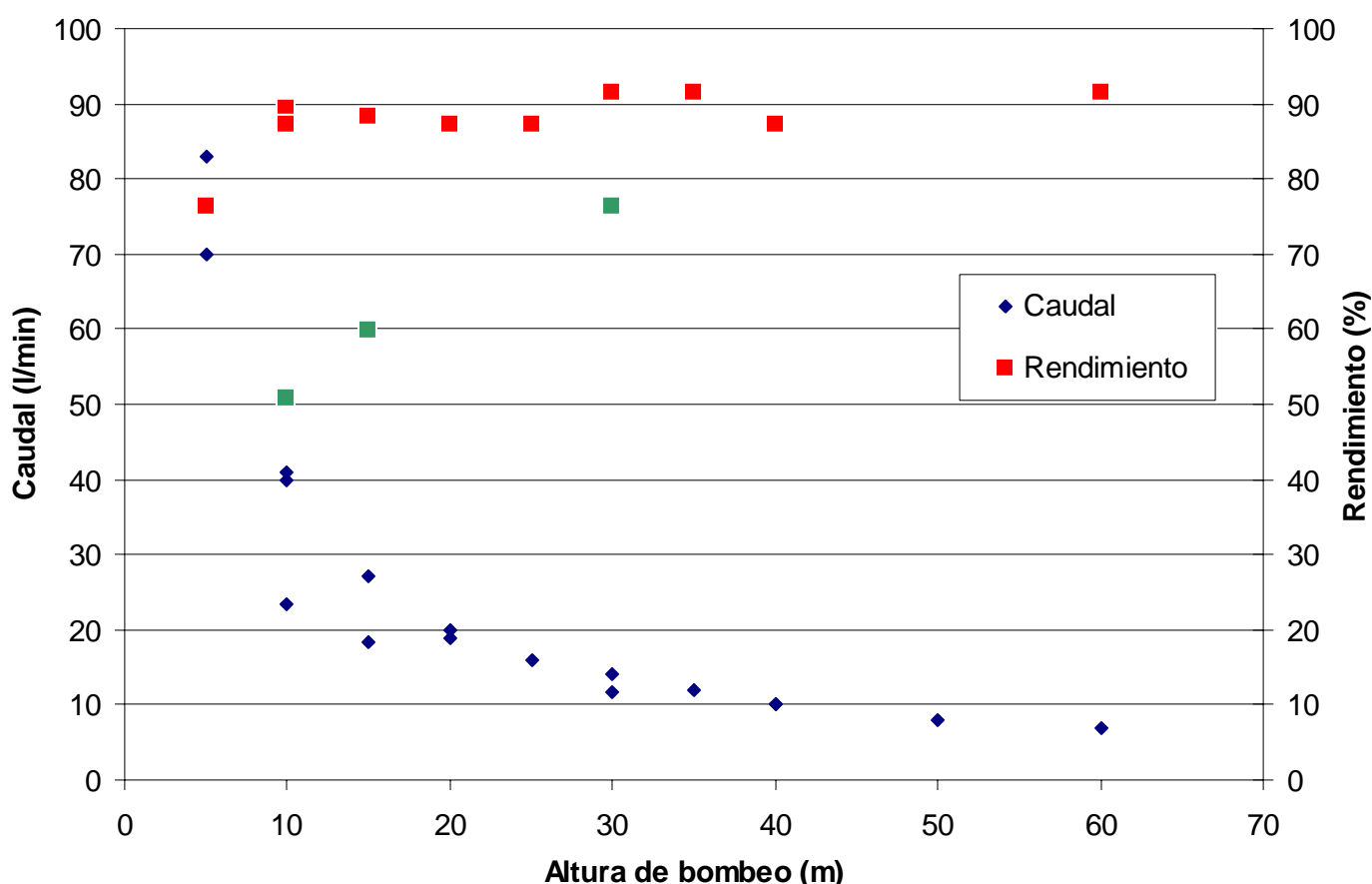
**Tabla 3.3.8** Valores experimentales de los parámetros básicos de las bombas de mecate para distintos organismos internacionales.

Tipo	Nombre	Altura bombeo(m)	Caudal (l/min)	Potencia (W)	Fuente
Bomba de cuerda	Mecate	5	70	75 W	Ropepump.com
Bomba de cuerda	Mecate	10	41	75 W	Ropepump.com
Bomba de cuerda	Mecate	15	27	75 W	Ropepump.com
Bomba de cuerda	Mecate	20	20	75 W	Ropepump.com
Bomba de cuerda	Mecate	25	16	75 W	Ropepump.com
Bomba de cuerda	Mecate	30	14	75 W	Ropepump.com
Bomba de cuerda	Mecate	35	12	75 W	Ropepump.com
Bomba de cuerda	Mecate	40	10	75 W	Ropepump.com
Bomba de cuerda	Mecate	10	40	75 W	Ropepumps.org
Bomba de cuerda	Mecate	40	10	75 W	Ropepumps.org
Bomba de cuerda	Mecate	60	7	75 W	Ropepumps.org
Bomba de cuerda	Mecate	5	83		WSP(BM)
Bomba de cuerda	Mecate	20	19		WSP(BM)
Bomba de cuerda	Mecate	50	8		WSP(BM)
Bomba de cuerda	Mecate	10	23,3	75 W	SKAT
Bomba de cuerda	Mecate	15	18,3	75 W	SKAT
Bomba de cuerda	Mecate	30	11,6	75 W	SKAT
Bomba de cuerda	Mecate	40	12		CUBA
Bomba de cuerda	Mecate	15	42		CUBA
Bomba de cuerda	Mecate	5	60		CUBA
Bomba de cuerda	Mecate	5	70		FRAG,
Bomba de cuerda	Mecate	10	41		FRAG,
Bomba de cuerda	Mecate	20	20		FRAG,
Bomba de cuerda	Mecate	30	14		FRAG,
Bomba de cuerda	Mecate	40	10		FRAG,

En la tabla figura la información proporcionada por organismos como Bombas de Mecate S.A. de Nicaragua (BOMESA) a través de su página de internet [ropepump.com](http://ropepump.com), la fundación PRACTICA de Holanda que reúne su información en la página de internet [ropepumps.org](http://ropepumps.org), la WSP (water and sanitation program) dependiente del Banco Mundial, la SKAT de Suiza, la sociedad cubana para la promoción de las fuentes renovables de energía, y la información recogida en las guías técnicas del programa de Fortalecimiento en Riego Agrícola FRAG en Nicaragua. Existen muchas más fuentes de información que al no añadir nada más a la aportada por los organismos de la tabla, no se ha incluido (Post Uiterweer N. 2000).

Para comparar los valores presentados en la tabla 3.3.8 para la bomba de mecate en la grafica 3.3.6 se recogen las series de datos de cada organización por separado de tal manera que se pueda delimitar hasta que punto puede existir algún valor fuera de lo razonable.

**Gráfico 3.3.19.** Valores experimentales de caudal frente a la altura de bombeo, presentados en la tabla 3.3.8 para las bombas de mecate según distintos organismos. Rendimientos para esos mismos valores experimentales

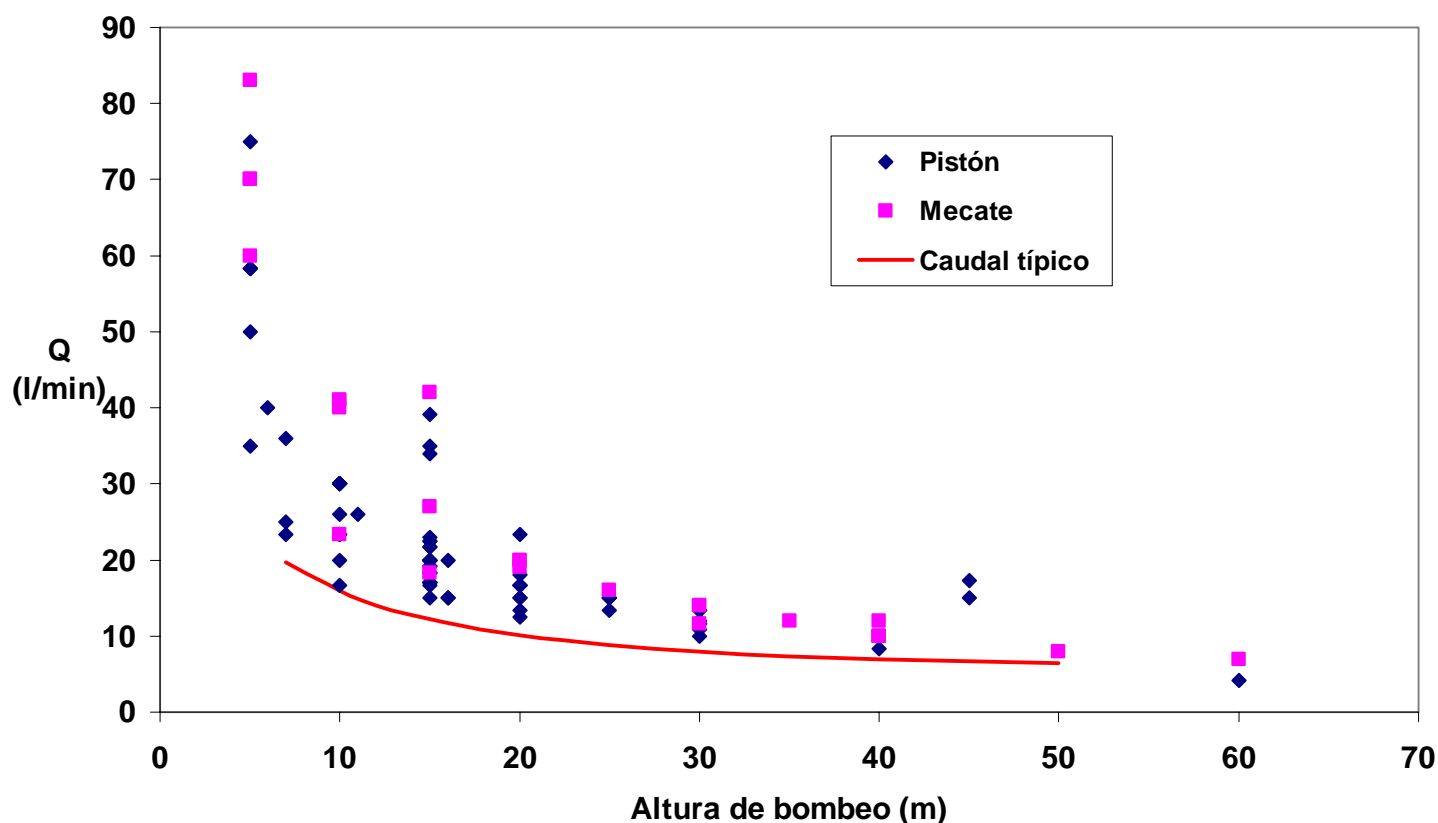


En general todas las series de datos en relación al caudal recogido se aproximan a la misma línea de tendencia excluyendo quizás lo aportados por la universidad cubana, que ya sea por el empleo de una potencia sobredimensionada, o por algún error en la información recogida presentan unos caudales de extracción bastante elevados con relación al resto,

sobre todo a 15 metros de profundidad. En relación al rendimiento que se extrae de los datos de potencia empleada y caudal recogido que proporcionan tanto las empresas privadas (datos naranja en la gráfica) como el BM (datos verdes) comprobamos que para estos últimos existe una tendencia similar a la de las bombas e pistón, aumentando el rendimiento con la profundidad de bombeo. En cambio si observamos los datos de las empresas parece que el rendimiento se mantiene siempre al mismo nivel alto. Esto entra en contradicción con todo lo anterior con lo que de nuevo estos datos habría que ponerlos en duda.

Finalmente para poder llegar a valorar la capacidad de este sistema de bombeo para el abastecimiento de agua en el ámbito rural contrastaremos estos datos experimentales con los aportados para los sistemas de bombeo manual basados en el mecanismo de pistón. Para ello en la gráfica 3.3.7 se pueden observar los datos de la tabla 3.3.8 de los valores experimentales de las bombas de mecate, frente a los de la tabla 3.3.1 que recoge los valores experimentales de las bombas fundamentadas en el mecanismo de pistón. Además en la gráfica se presentan la de caudal recogido para distintas alturas de bombeo que construimos para analizar el funcionamiento de los equipos de pistón basadas en la tabla 3.3.2, de tal manera que podemos considerar hasta que punto la información proporcionada por los organismos que están trabajando con la bomba de mecate, presenta un mejor comportamiento que la recogida y elaborada para los mecanismos de pistón.

**Gráfica 3.3.7** Caudal teórico típico para distintas alturas de bombeo para bombeo manual accionado manualmente. Valores experimentales de caudal frente a la altura de bombeo, presentados en la tabla 3.3.1 y en la tabla 3.3.8



Como se observa en la gráfica, la bomba de mecate, a profundidades de trabajo elevadas presenta en general mejores regímenes de caudal extraído. Teniendo en cuenta que según estos organismos la potencia introducida en la instalación es del orden de la que hemos concluido en apartados anteriores como razonable, obliga a suponer que el rendimiento para los equipos de bombeo manual basados en un mecanismo de cuerda será sensiblemente mayor a los fundamentados en el pistón. Aún así y como ocurría para los mecanismos de pistón existen algunos datos cuyo valor de caudal recogido implican una potencia superior a la analizada como razonable, por lo que habremos de considerar que o en la realización de esa prueba se introdujo una potencia excesiva o que directamente existe un error en el valor aportado.

Una vez realizada la comparación entre los valores de los parámetros fundamentales de ambos mecanismos comprobamos que los regímenes de funcionamiento para estos parámetros son muy similares en lo relativo al caudal extraído por la instalación. Aún así existen notables diferencias entre ambas tecnologías. En las bombas de mecate no existen fuerzas dinámicas ya que el accionamiento de la manivela es rotacional, además la presión en el tubo de subida a profundidades elevadas es menor, equivalente a la columna de agua entre dos pistones. Su uso es más sencillo, así como su tecnología, mantenimiento y reparación.



## **4 Ejemplo de diseño de instalación en una comunidad rural**

En esta última parte de nuestro estudio vamos a realizar el diseño práctico de una posible instalación. De esta manera pretendemos ofrecer una guía de uso de los capítulos anteriores, además de comprobar la utilidad de este trabajo tanto en lo relacionado con su manejo como en lo relativo al propio dimensionamiento de la instalación, caudales estimados, potencias previstas, tiempos de abastecimiento, o selección del sistema de bombeo más adecuado a las circunstancias de diseño.

### ***4.1 Definición de la población a estudio***

Hemos recogido la información de una población tipo en una zona rural de Bangladesh (Aziz et al 1990) que se presenta en la tabla 4.1. Los datos no son tan precisos como sería conveniente para la realización completa del dimensionamiento de la instalación, pero será lo habitual en este tipo de proyectos. Sería conveniente recoger la edad de la población por más tramos, su peso medio, si tiene una alimentación adecuada o cuales son las condiciones meteorológicas respecto a la temperatura o a la humedad.

Esta población tiene importantes carencias relacionadas con el abastecimiento de agua. En la tabla 4.2 se recoge el porcentaje de familias que usan distintas fuentes de abastecimiento de agua en los diferentes hábitos diarios que definimos en el capítulo 2 como fundamentales a la hora de considerar el consumo de agua básico, tanto para la época seca del año como para la húmeda. La escasez de agua en las condiciones adecuadas de saneamiento hace que los pobladores recurran a fuentes no saneadas a la hora de recoger agua para beber, cocinar, lavar los alimentos o sus ropas o para la higiene personal. Estas fuentes como las aguas superficiales, los pozos escavados a mano donde se extrae el agua con un cubo y una cuerda, o a las aguas de lluvia en la época húmeda del año, son el origen de multitud de afecciones relacionadas con el estado de contaminación de estas aguas. Por todo esto será imprescindible incrementar el número de bombas manuales existentes sobre el terreno de tal manera que el abastecimiento a través de ellas evite el riesgo de enfermedades relacionadas con el saneamiento del agua.

**Tabla 4.1.** Datos de la población a estudio (Aziz et al 1990).

<b>Número de familias</b>	799	
<b>Población</b>	4856	
<b>Miembros por familia</b>	6	
<b>Porcentaje de la edad de cada miembro familiar</b>	<1 año	4
	1-4 años	10
	5-14 años	28
	15-44 años	43
	>45 años	16
<b>Peso medio (kg)</b>	Hombre	57
	Mujer	47

**Tabla 4.2.** Porcentaje de familias en la zona de intervención que usan distintas fuentes de abastecimiento de agua para los diferentes hábitos diarios tanto durante la temporada seca como durante la húmeda (Aziz et al 1990).

Temporada	Época seca				Época húmeda			
<div> <div>Hábitos diarios</div> <div>Fuente de abastecimiento</div> </div>	Beber	Cocinar	Lavar	Baño	Beber	Cocinar	Lavar	Baño
Bomba manual	87	69	38	15	73	50	22	6
Agua de lluvia	-	-	-	-	8	15	43	52
Pozo con cubo y cuerda	13	28	25	5	18	30	16	-
Agua superficial	-	3	37	80	1	5	19	42

### 4.2 Desarrollo del diseño de la instalación

A partir de apuestos datos y de acuerdo con nuestro estudio vamos a tratar de delimitar los distintos parámetros que caracterizarán la instalación de estas bombas. Habremos de estudiar el volumen de agua imprescindible en el abastecimiento para evitar afecciones relacionadas con la escasez. A continuación tendremos que comprobar qué equipos de bombeo manual son los más adecuados para las condiciones del terreno, revisaremos la distribución de la población para optimizar el emplazamiento de los equipos de bombeo manual, y a partir de la potencia desarrollable por la población usuaria y el rendimiento de los equipos en cuestión podremos plantear tal y como se recoge en la ecuación (6) de la introducción, el tiempo invertido por cada usuario en el abastecimiento. Una vez estimado este tiempo tendremos la posibilidad de calcular el número de bombas totales que serán necesarias para garantizar un acceso al agua que pueda reconducir la situación de esta población en lo relativo a las afecciones provocadas por la escasez de agua potable. Aunque nos centremos en la parte técnica del proyecto, sería imprescindible en este proceso, que la instalación de los equipos se acompañase con unos talleres que facilitarán el cambio de los hábitos de abastecimiento de agua, además de la realización de cursos de capacitación tanto para la instalación, como para el manejo, el mantenimiento y la reparación de los equipos de bombeo.

Comencemos planteando, tal y como concluimos en el capítulo 2 (en el punto 2.1.3), que será aconsejable garantizar 75 litros por persona y día. En el abastecimiento de agua a través de sistemas de bombeo colectivos, que no se encuentran en el domicilio, suelen ser dos personas, como mucho, las encargadas de recoger toda el agua que una familia necesita. Cada familia tiene en este caso una media de seis miembros. En estas condiciones el volumen necesario por familia y día sería de 450 litros. A primera vista parece que aunque dos personas pudiesen bombear esta cantidad de agua su transporte hasta el domicilio solo sería comprensible empleando animales de carga o carros, o realizando varios viajes a lo largo del día. De otra manera esta cantidad resultaría inviable, ya que supondría demasiado esfuerzo. Dadas las circunstancias de nuestro caso plantearemos esta cantidad de 75 litros de tal manera que nuestro diseño del sistema garantice esta posibilidad de acceso aunque realmente luego este consumo sea menor. Por ello cada uno de los dos miembros de la familia extraerá la mitad de esos 450 litros totales, con lo que el  $V_{bombeo}$  bombeado por cada usuario del equipo será de unos 225 litros.

$$(4.1) \quad \begin{aligned} V_{persona} &= 75 \text{ litros diarios} \\ V_{bombeo} &= 225 \text{ litros por usuario} \end{aligned}$$

A continuación, revisando las características de las aguas subterráneas y de su fluctuación estimada a lo largo del año, junto a la drenabilidad del terreno y su capacidad de soportar un bombeo continuo y considerando las muy limitadas condiciones económicas con las que se cuenta para estos proyectos, decidiremos qué equipo de bombeo manual es el más adecuado. En este caso la profundidad de bombeo esperada es de cerca de 8 metros, aunque por la sobreexplotación de este agua, puede que el nivel esté a una altura ligeramente mayor, nunca más allá de los 12 metros, ni siquiera en la temporada seca del año.

$$(4.2) \quad h_{\text{bombeo}} = 12 \text{ metros}$$

Para esta profundidad de trabajo, las bombas de succión quedan descartadas ya que tal y como estudiamos en el capítulo 3.3 su altura máxima de bombeo no alcanza más allá de los 7,5 metros de profundidad. Los equipos más adecuados serán, según las conclusiones del capítulo 3.3, las bombas de acción directa, ya que aúnan las condiciones técnicas con las limitaciones económicas. Estas bombas como detallamos en el apartado 3.3.2.4 están diseñadas para alturas de bombeo comprendidas entre los 10 y los 20 metros de profundidad, presentan un manejo sencillo, son compatibles con las técnicas locales de construcción de pozos, poseen un mantenimiento accesible a los usuarios tanto por los materiales como en lo relativo a los conocimientos y se encuadran completamente dentro del diseño VLOM requerido. A través de las tablas 3.3.1 y 3.3.2 podemos comprobar que el rendimiento medio experimental de estos equipos es aproximadamente del 50%. Entre los equipos de acción directa, podremos elegir entre distintos tipos, tanto la Tara como la Nira o la Malda se emplean ampliamente. Las dos segundas son más caras pero presentan un mejor comportamiento en la durabilidad y pueden por tanto soportar un uso más intensivo a lo largo del día y a un mayor número de usuarios. Elegiremos, para la instalación que nos ocupa, de entre estas dos, la bomba de acción directa Malda ya que su diseño es de dominio público, a diferencia de la Nira AF85 en la que esta restringido por la empresa que lo desarrolló. Como explicamos en el apartado 3.1.4 es preferible impulsar tecnologías que faciliten su mantenimiento y comprensión por la población usuaria.

$$(4.3) \quad \text{Bomba manual Malda con } \eta_{\text{bomba}} = 0,5$$

Como acabamos de comentar esta bomba soportará un uso elevado, pudiendo funcionar como máximo, para asegurar su durabilidad, cerca de unas diez horas al día, cifra que nos ayudará a calcular el número de equipos que serán razonables para asegurar las cantidades proyectadas para el consumo personal garantizando la sostenibilidad de los equipos.

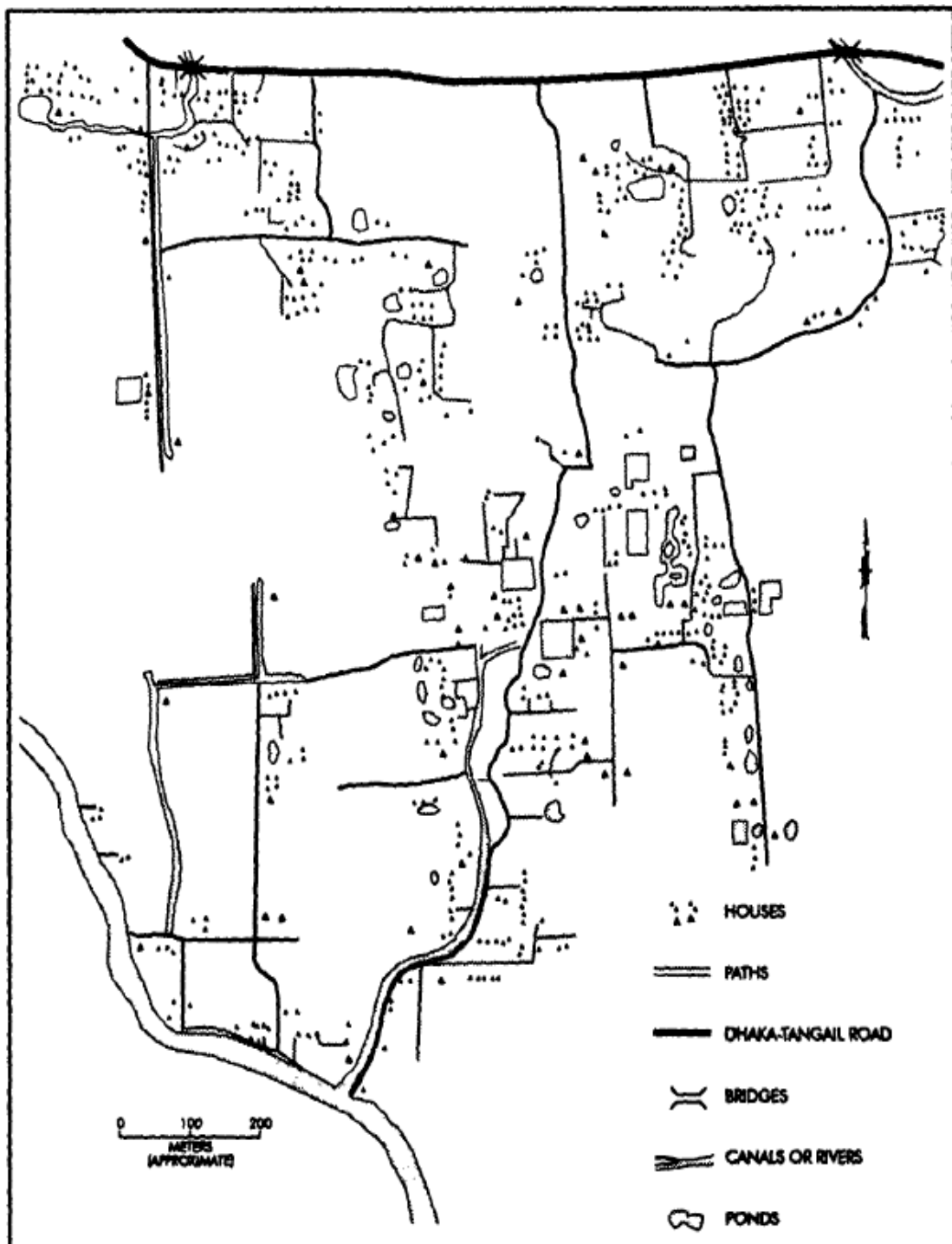
$$(4.4) \quad t_{\text{bombeo}} < 10 \text{ horas al día}$$

Además como ya hemos explicado en el capítulo 2.1.2.3 es fundamental que la distancia del domicilio a la fuente tal y como se recoge en la tabla 2.3 no exceda los 100 metros o los cinco minutos, ya que como se ha concluido en este apartado, esto implica un consumo inferior al imprescindible sea cual sea la tecnología empleada para el abastecimiento.

$$(4.5) \quad t_{\text{hasta.la.bomba}} < 5 \text{ minutos}$$
$$\text{dist}_{\text{hasta.la.bomba}} < 100 \text{ metros}$$

Por esto y observando la distribución de los domicilios en un mapa de la zona, como el que se presenta en la figura 4.1, tendremos que situar tantos equipos como sea necesario de tal manera que esta exigencia se vea cumplida además de cumplir las relacionadas con el drenaje, la orientación, espacio suficiente para la plataforma etc.

**Figura 4.1.** Mapa de la zona de intervención (Aziz et al 1990).



Dada esta distribución de la población usuaria tan dispersa, algo habitual por otro lado en proyectos dentro del ámbito rural, la condición más exigente de las anteriores será la de la distancia a la bomba, por lo que seguramente en la mayoría de los equipos el régimen de trabajo será inferior a las diez horas que puede soportar cada bomba, con lo que otros tipos como la Tara que es más barata, debido a que es más frágil, también darían un buen funcionamiento.

Una vez determinadas las cantidades imprescindibles para el abastecimiento por habitante de 75 litros, la distancia máxima a la fuente, el tipo de bomba a emplear y la altura de bombeo esperada deberemos estimar que potencia media desarrollará la población usuaria. De acuerdo con lo concluido en el capítulo 3.2, en la tabla 3.2.6 deberemos conocer cual es el peso medio para los hombres y mujeres, en nuestro caso serán 57 y 47Kg respectivamente. Ahora para trabajar con el criterio más exigente, estableceremos el peso medio de la mujer para el cálculo de la potencia nominal desarrollable tal y como introduce la tabla 3.2.6 que será de 1,5 W/Kg al tratarse de una bomba accionada manualmente, lo que dará un total de 70W.

$$(4.6) \quad \dot{W}_{\text{nominal}} = 70 \text{ W}$$

Ahora deberemos considerar los parámetros enunciados en la tabla 3.2.7. En lo relativo a la edad como acabamos de ver con los datos que disponemos en la tabla 4.1 y descartando a los habitantes que no se encargarán del abastecimiento tanto los que superan los 45 años como los que no llegan a los 5, tendremos un 28% en el intervalo de menos de 14 años y un 43% para los tres intervalos siguientes de 14 a 20 años de 20 a 30 años y de 30 a 40 años. Con lo que si denominamos F al factor correspondiente al porcentaje del total de gente que acciona la bomba tendremos:

$$F_{<14\text{años}} = 0,39$$
$$F_{14-40\text{años}} = 0,61$$

Continuando con lo establecido en la tabla 3.2.7, en lo referente al tiempo de bombeo, al tratarse unidades familiares no muy numerosas, de seis componentes como se recoge en la tabla 4.1, el tiempo de bombeo de los usuarios que recogen agua para la familia será de menos de media hora por persona. Consideraremos una ergonomía buena del equipo al tratarse de una bomba VLOM, que la alimentación y la condición física es la adecuada y que no existen en la zona temperaturas excesivamente altas para afectar notablemente al esfuerzo físico. Eso si, la humedad en esta región si será lo suficientemente elevada como para disminuir sensiblemente este esfuerzo. Por todo esto y de acuerdo con la tabla 3.2.7 habríamos de definir las distintas potencias características de una mujer en la franjas comprendidas entre los 14 y los 40 años,  $\dot{W}_{<14}$ ,  $\dot{W}_{14-20}$ ,  $\dot{W}_{20-30}$  y  $\dot{W}_{30-40}$ , considerando todas las limitaciones descritas. Pero como en este caso solo disponemos de los datos correspondientes a las franjas de menos de catorce años  $F_{<14}$ , y a la comprendida entre 14 y 40 años  $F_{14-40}$ , deberemos en esta segunda franja escoger entre los tres intervalos de edad definidos en la tabla 3.2.7 el que implique la definición de potencia desarrollable mas restringida, de forma que el diseño asegure el abastecimiento aún en las condiciones más limitadas de potencia. Este intervalo como observamos en la tabla será el relativo a una mujer entre los 30 y los 40 años,  $\dot{W}_{30-40}$ , de tal forma que si:

$$\dot{W}_{\text{bombeo-teorico}} = \sum_{i=1}^4 F_i \dot{W}_i = F_{<14} \dot{W}_{<14} + F_{14-20} \dot{W}_{14-20} + F_{20-30} \dot{W}_{20-30} + F_{30-40} \dot{W}_{30-40}$$

En nuestro caso con la información que disponemos tendremos:

$$\dot{W}_{\text{bombeo-caso}} = F_{<14} \dot{W}_{<14} + F_{14-40} (\dot{W}_{14-20} + \dot{W}_{20-30} + \dot{W}_{30-40}) > F_{<14} \dot{W}_{<14} + F_{14-20} \dot{W}_{30-40}$$

Con lo que finalmente aseguraremos el abastecimiento en las condiciones más desfavorables si:

$$\dot{W}_{\text{bombeo}} = F_{<14} \dot{W}_{<14} + F_{14-20} \dot{W}_{30-40}$$

A partir de la potencia nominal de 70W que hemos planteado en este caso y siguiendo la tabla 3.2.7, con las restricciones comentadas tendremos:

$$(4.7) \quad \dot{W}_{30-40 \text{ años}} = 70 \times 0,85 \times 0,85 \times 0,85 = 42,98W$$

$$(4.8) \quad \dot{W}_{<14 \text{ años}} = 70 \times 0,85 \times 0,8 \times 0,8 = 38,08W$$

Estos dos esfuerzos son relativamente parecidos debido a las circunstancias que caracterizan a la población femenina en la franja comprendida entre los 30 y los 40 años. Son mujeres que ya han tenido varios hijos, más de cuatro habitualmente, pudiendo por tanto llegar a desarrollar menores esfuerzos y superando tan solo ligeramente a la población más joven. Finalmente tendremos un  $\dot{W}_{\text{bombeo}}$  :

$$(4.9) \quad \dot{W}_{\text{bombeo}} = F_{<14} \dot{W}_{<14} + F_{14-20} \dot{W}_{30-40} = (0,39 \cdot 38,08) + (0,61 \cdot 42,98) = 41,07W$$

Una vez llegados a este punto y a partir de los valores para el  $\dot{W}_{\text{bombeo}}$  de (4.9),  $\eta_{\text{bombeo}}$  de (4.3) y de la  $h_{\text{bombeo}}$  de (4.2), emplearemos la ecuación (4) que definimos en la introducción de este proyecto, para establecer el caudal medio que aproximadamente extraerá un usuario en la instalación de bombeo manual que estamos diseñando:

$$(4.10) \quad Q_{\text{medio}} = \frac{\dot{W}_{\text{bombeo}} \eta_{\text{bomba}}}{\rho g h_{\text{bombeo}}} = 10,44 \text{ litros/min}$$

Valorando que el  $V_{\text{persona}}$  que hemos introducido en (4.1) es de 75 litros/persona y de 225 litros por usuario, el tiempo de bombeo será:

$$(4.11) \quad t_{\text{bombeo}} = \frac{V_{\text{usuario}}}{Q_{\text{medio}}} = 22 \text{ minutos}$$

Si este es el tiempo que emplea cada persona bombeando, y considerando las pérdidas de tiempo relacionadas con el cambio de usuario, planteamos que la bomba podrá ser empleada por dos personas por hora. Si su régimen de funcionamiento ha de ser inferior a las diez horas (4.4), podrá ser empleada por unas 20 personas como máximo diariamente.

A partir de esta limitación y de la introducida en (4.5) podremos establecer dos criterios básicos en el diseño de nuestra instalación, de tal manera que el número de bombas para la población usuaria de trabajo ha de asegurar que ningún domicilio tenga que recorrer más de cien metros, o tardar cinco minutos en llegar a la bomba más cercana, y que ninguna bomba tenga que ser empleada por más de 20 personas, que implicarán en este caso en particular 10 núcleos familiares, o viviendas.

Dada la escasa información con la que contamos para este caso práctico es muy difícil establecer qué número de bombas son imprescindibles para asegurar el primero de estos dos condicionantes. Respecto al segundo y teniendo en cuenta la población que se presenta en la tabla 4.1 de 4856 habitantes, repartidos en 799 familias serán necesarias al menos unas 80 bombas si el abastecimiento se reparte a lo largo de todo el día. Estas 80 bombas son el número mínimo que asegura que el total de la población podría abastecerse de las cantidades planteadas, es evidente que habrá que instalar una cantidad superior para no tener todos los equipos en los límites de trabajo, si planteáramos que el abastecimiento de la población se realiza en las cinco primeras horas del día desde las 6 a.m. a las 11 a.m. el número se habrá de incrementar a unas 160 bombas. Así pues, en este caso en que la información de la que disponemos solo nos permite dimensionar la instalación aplicando uno de los dos criterios comentados excluyendo el definido en (4.5), lo más adecuado sería al menos instalar una cantidad que se encuentre entre las 80 y las 160.

Obviamente en la mayoría de las situaciones, el número de bombas será superior si consideramos además el primero de los dos criterios que no podemos precisar con la información que disponemos. Sin embargo y como comparación, podemos emplear los resultados presentados para este mismo proyecto realizado por el BM en 1995 para comprobar hasta que punto nuestras conclusiones pueden ser implementadas.

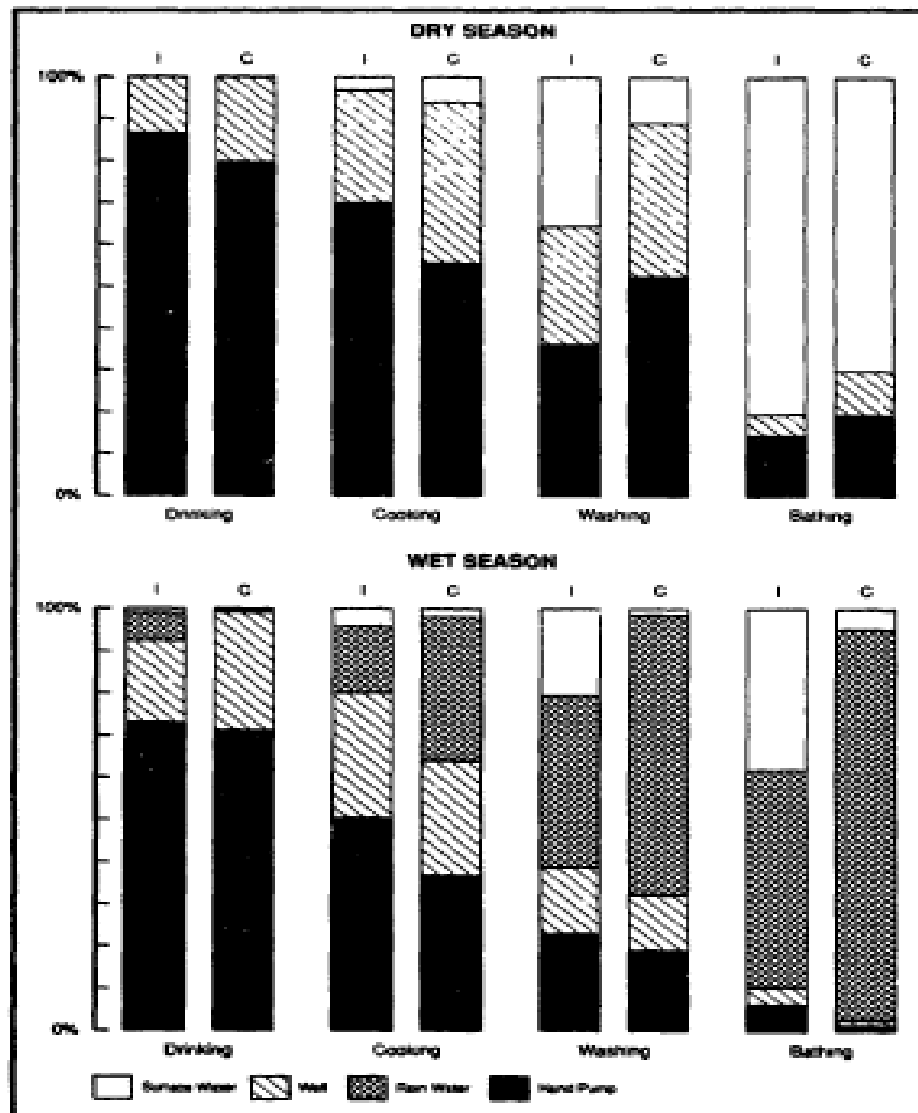
### **4.3 Resultados de la instalación sobre el terreno**

El diseño de la instalación para este trabajo del BM (Aziz et al 1990) se basó en la instalación de 148 bombas Tara en la zona, de tal manera que un 80% de las familias se encontraba a menos de cien metros de un equipo de bombeo. Después de dos años en los que se potenció el empleo de estos sistemas se realizó un análisis del uso de los mismos entre la zona en la que se instalaron las bombas (zona I de intervención) y otra zona en la que no (zona C de control), que demostró que los hábitos en el abastecimiento de agua

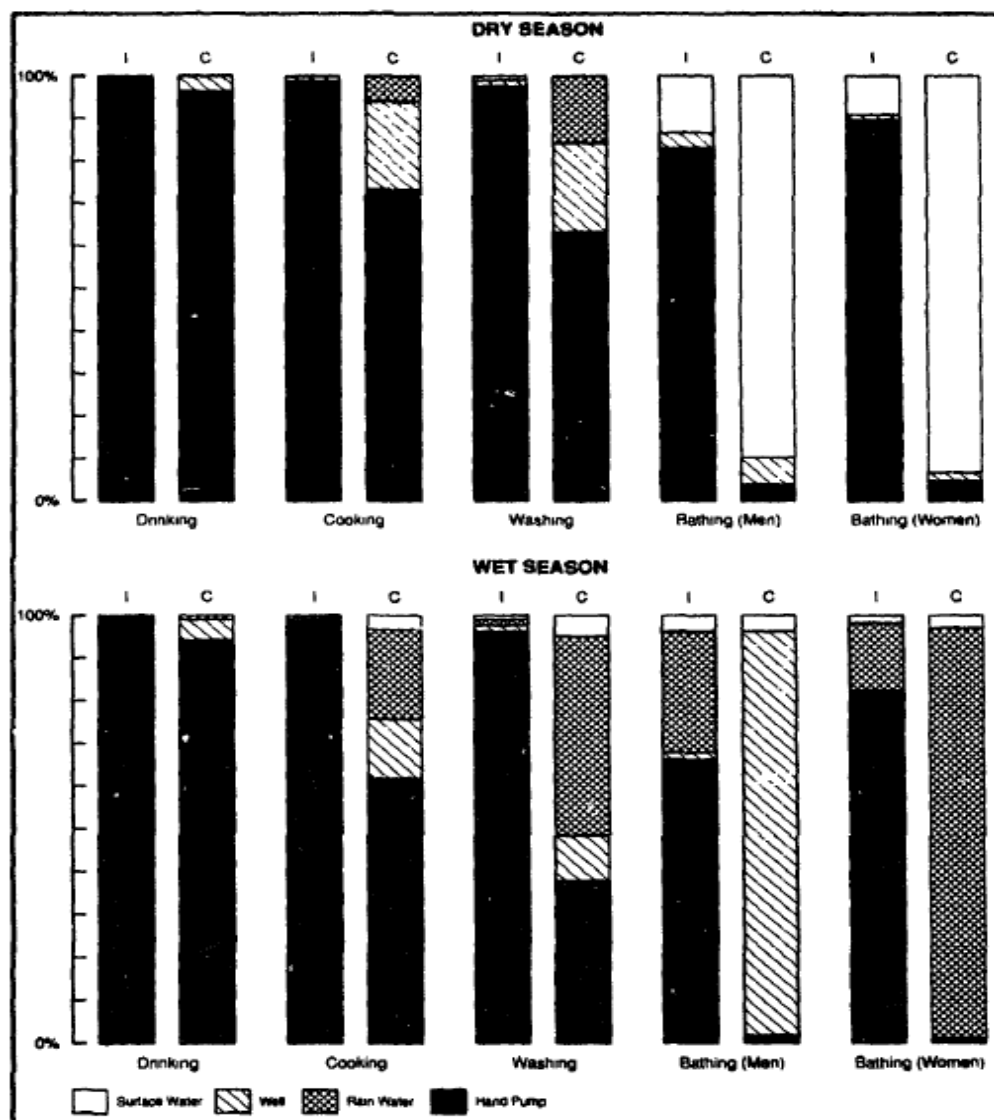


habían variado notablemente en la zona donde se colocaron los equipos, tal y como observamos si contrastamos el gráfico 4.1 que recoge la situación de las dos zonas antes de realizar la instalación con el gráfico 4.2 elaborado dos años después de la colocación de los equipos de bombeo manual.

**Gráfico 4.1** Porcentaje de familias en la zona I de intervención y en la zona C de comparación que usan distintas fuentes de abastecimiento de agua para los diferentes hábitos diarios tanto durante la temporada seca como durante la húmeda antes de la instalación de los equipos de bombeo manual (Aziz et al 1990).

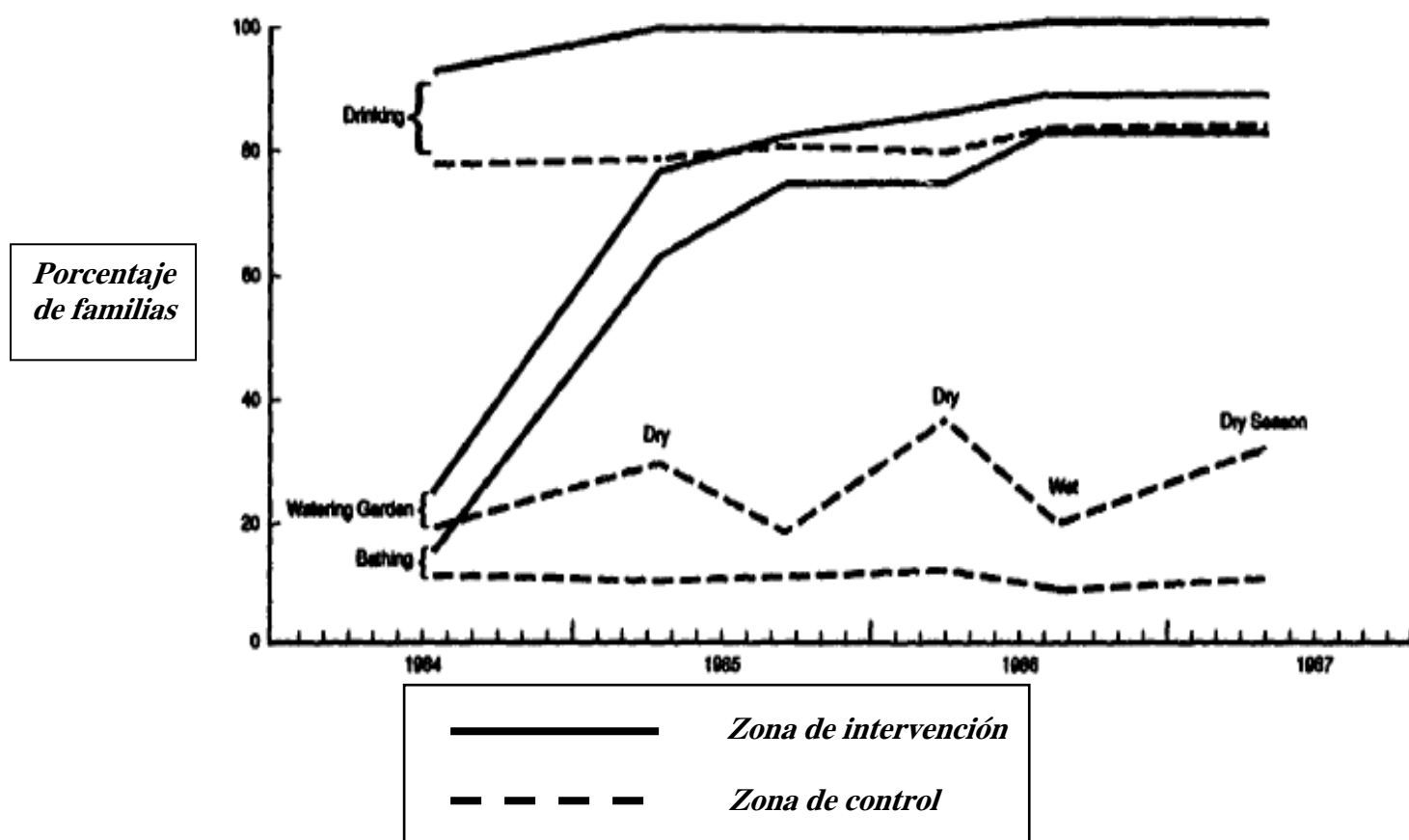


**Gráfico 4.2** Porcentaje de familias en la zona I de intervención y en la zona C de comparación que usan distintas fuentes de abastecimiento de agua para los diferentes hábitos diarios tanto durante la temporada seca como durante la húmeda dos años después de la instalación de los equipos de bombeo manual (Aziz et al 1990).



Para todos los hábitos de consumo de agua, tanto para beber (drinking en el gráfico), cocinar (cooking), lavar los alimentos o sus ropas (washing) o para la higiene personal (bathing) se registra un notable aumento del agua recogida mediante una bomba manual en la zona de intervención I frente a la zona de control C que se mantiene prácticamente igual en esos dos años. Sobre todo observamos que prácticamente toda el agua empleada en el consumo directo, en la preparación de comidas y en el lavado de la ropa, proviene del bombeo manual. Esto reducirá notablemente las afecciones relacionadas con el consumo de aguas contaminadas en esta región I. A continuación podemos observar el gráfico de la evolución del abastecimiento mediante bombeo manual del agua consumida por las familias, en estos hábitos en las dos zonas. Vuelve a mostrar la diferencia que se desarrolló entre la zona de la instalación y la de control.

**Gráfico 4.3** Evolución del porcentaje de familias que emplean las bombas manuales para el abastecimiento de agua, para distintos hábitos diarios desde 1984 a 1987(Aziz et al 1990).



Además en la información recogida se ofreció para la temporada húmeda y la seca, el número de familias que de las 799 se decidió por el empleo mayoritario de las bombas manuales para su abastecimiento de agua junto al consumo medio por persona y día de usuarios por bomba, que presentamos en la tabla 4.3. (Aziz et al 1990).

**Tabla 4.3** Número de familias que emplearon el bombeo manual como fuente fundamental para el abastecimiento de agua a lo largo de distintas épocas del año y los litros consumidos por persona diariamente (Aziz et al 1990).

Época del año	Número de familias que emplearon bomba manual	Litros por persona diario
Marzo (seca)	594	43
Junio-Julio (húmeda)	635	38
Septiembre-Octubre	640	34\$

## Capítulo 4. Ejemplo de diseño de instalación en una comunidad rural

Para profundizar en el caso de la época seca se realizó un estudio más preciso incluido en la tabla 4.4. Este análisis nos permite contrastar muchas de las conclusiones de este proyecto. Por un lado vemos que el consumo aumenta cuantas menos unidades familiares tiene la vivienda o cuando la edad de los niños es superior al año. También se incrementa el consumo de agua si la educación de los cabezas de familia es superior. Otro resultado importante es el notable cambio que se registra en el consumo en relación con la distancia a la fuente o al número de personas que emplean dicha fuente.

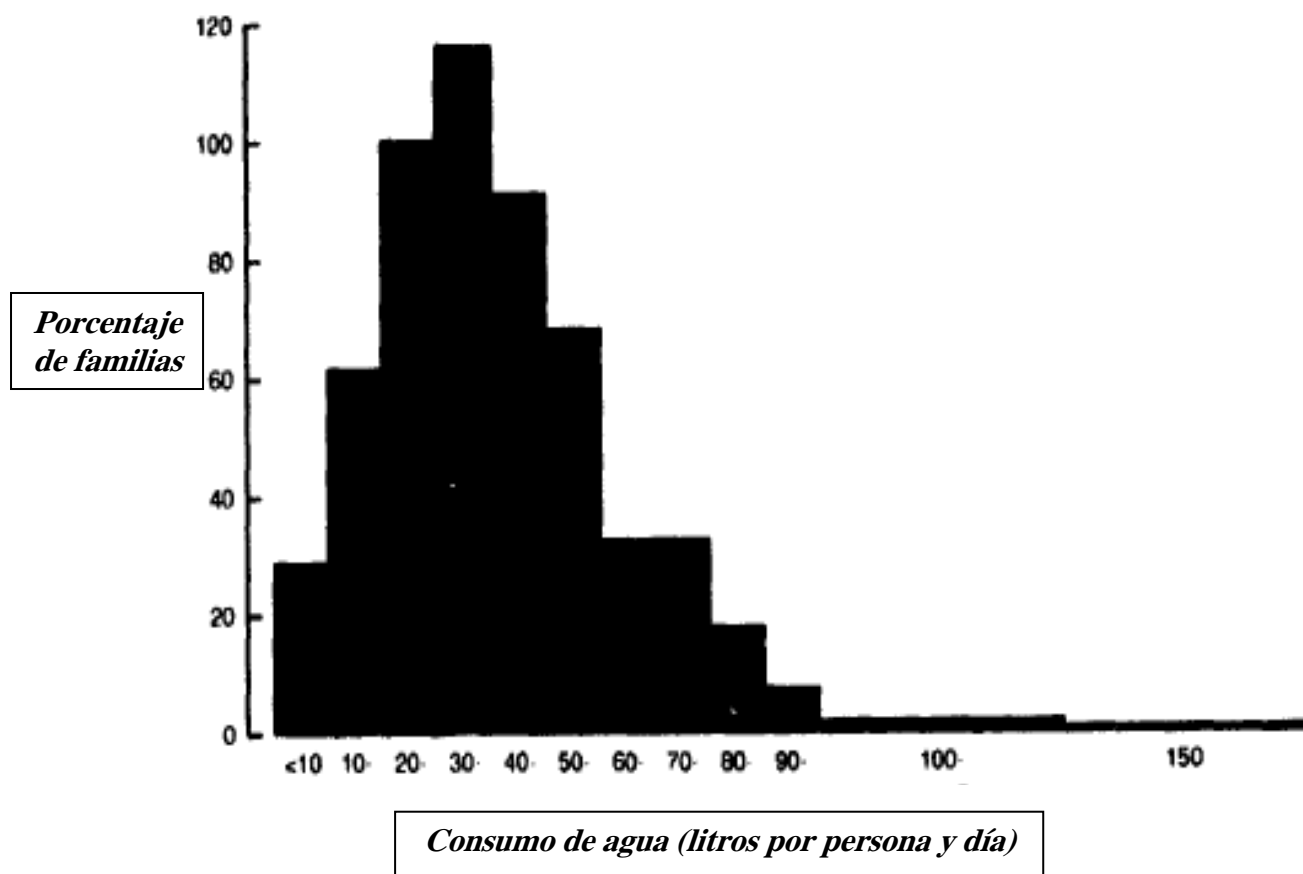
**Tabla 4.4** Porcentaje de familias y consumo diario de agua por persona para distintos factores relacionados con el empleo de la bomba manual para el abastecimiento de agua en la época seca del año (Aziz et al 1990).

Factores para las 594 familias	Niveles	Porcentaje de familias	Consumo diario por persona (litros)
Número de miembros por familia	1-3	15	60
	4-6	44	41
	7-9	25	41
	>10	16	34
Número de niñas y de niños menores de cinco años	0	43	50
	1	34	38
	>1	22	36
Religión	Musulmán	67	41
	Hindú	33	46
Educación de la madre y del padre (en años)	0	65	41
	1-10	31	46
	>10	1	51
Ocupación familiar	Agricultura	45	39
	Otra	55	46
Distancia desde el domicilio a la bomba (metros)	0-24	9	56
	25-49	28	49
	50-99	42	42
	>100	20	31
Usuarios por bomba	< 20	15	49
	>20	85	42

Por último en el gráfico 4.4 se presenta el número de familias dentro de distintas franjas del consumo diario por persona, que nos permite comprobar el reducido número de ellas que se encuentran dentro del consumo de 75 litros que hemos valorado como aconsejable. Queda otra vez demostrado que es muy difícil elevar el consumo de agua hasta los 75 litros por persona, sobre todo en la parte destinada a la higiene personal a no ser que la instalación se sitúe junto al domicilio o dentro de él. Aún así también se demuestra que asegurando una distancia inferior a los cien metros y evitando la saturación de usuarios en los equipos de bombeo el consumo personal puede alcanzar cantidades del orden de los 60 litros diarios, cifra que está dentro de intervalos razonables para evitar afecciones relacionadas con la escasez o el saneamiento inadecuado.

Observando este gráfico 4.4 comprobamos que el consumo medio es de unos 30 litros por persona y día para la mayor parte de las familias. A partir de este consumo, se podrá también establecer según lo concluido en el apartado 2.1.3 cuales de los hábitos básicos diarios se cubrirán consumiendo agua potable. Como quedó establecido, en estas familias se priorizará el empleo de agua no contaminada para el consumo personal, y a continuación para la elaboración de comidas. En este caso y dada la cantidad de 30 litros planteada, el tercero de los hábitos básicos que aconsejan el consumo de agua potable, la higiene, no se encontrará cubierto, teniendo las familias que emplear en parte aguas contaminadas, tanto para la higiene personal, como para el lavado de ropa o bien no podrán llegar a desarrollar estas acciones adecuadamente, con el riesgo sobre la salud que esto provocará.

**Gráfico 4.4** Porcentaje de familias dentro de distintos tramos de consumo de agua por persona y día (Aziz et al 1990).



### 4.4 *Discusión del diseño*

A través de estos datos ofrecidos por el estudio sobre el terreno del BM podemos extraer varias conclusiones en relación con la metodología que hemos detallado para el dimensionamiento de una instalación de bombeo manual. Por un lado queda demostrada la trascendencia de la distancia del domicilio a la bomba, tanto a la hora de decidir el número de bombas que serán necesarias como en el momento de alcanzar un consumo de agua que evite enfermedades relacionadas con la escasez o el saneamiento. Este criterio de diseño en el ámbito rural será en muchas ocasiones más exigente que el número de usuarios que puede abastecer una bomba asegurando volúmenes de agua recogida aceptables, como queda demostrado en este caso práctico. Nuestro diseño concluía que al menos entre 80 y 160 bombas eran imprescindibles para asegurar que los usuarios dispusieran de la posibilidad de abastecerse de 75 litros por persona y día, en el proyecto realizado por el BM, aunque ese número de bombas instaladas se encuentra dentro del intervalo, no se alcanzaron esos niveles de consumo diario por habitante. Esto es debido posiblemente, como recoge la tabla 4.3, a que la distancia a la fuente hace que los usuarios más alejados se decidan a extraer menos agua o a que las familias más numerosas no recogen tanta agua por miembro tanto por el mayor esfuerzo en el bombeo y en el transporte que esto supone como por la mayor cantidad de tiempo que implicaría el proceso.

Además en los datos recogidos en la tabla 4.3 se produce la circunstancia de existir algunas bombas que soportan menos de los 20 usuarios que hemos considerado como el límite aconsejable, mientras que otras muchas, cerca del 85%, están saturadas con lo que también el consumo por usuario se ve reducido. Queda pues demostrado que solo a través de una política de diseño que logre acercar las fuentes de abastecimiento a los domicilios se logrará elevar las cuotas de consumo a las cantidades consideradas como imprescindibles para el aseguramiento de la salud.

Así pues hemos comprobado que mediante los cálculos de diseño estableceremos qué sistema de bombeo es el más adecuado y qué rendimiento se le presupone con bastante exactitud. Además a través de nuestro diseño introduciremos el cálculo del tiempo de bombeo por familia, que nos indicará el tiempo que se gasta en el abastecimiento dificultando así la educación de los hijos o la economía familiar. Por último este análisis facilita una delimitación de la potencia que se desarrollará de media sobre el equipo de bombeo y cuál será su régimen de funcionamiento; sin un análisis preciso de esta potencia desarrollable por un usuario tipo de la instalación, el diseño puede resultar sobredimensionado. Habitualmente a la hora de estudiar la capacidad de abastecimiento de estas bombas se introducen potencias mucho mayores a las reales sobre el terreno, con lo que no se ajusta correctamente el tiempo que tardará cada persona en bombear agua y todo el diseño resulta alterado.

## **5 Conclusiones y desarrollo futuro del informe**

A lo largo de todo este estudio hemos tratado de analizar la capacidad del bombeo manual de enfrentarse a los problemas relacionados con el abastecimiento de agua no contaminada que sufre una gran parte de la población rural en los países menos desarrollados. Hemos comenzado situando el problema de escasez de agua que existe en estas zonas del planeta valorando la situación actual de los recursos hídricos. La sobreexplotación y la contaminación de estos recursos provocan graves carencias en el abastecimiento de agua en buenas condiciones para cerca de 2400 millones de personas, con las graves consecuencias que esto produce en el estado de salud de esa población. Solo a través de fuentes saneadas de abastecimiento o la búsqueda de fuentes alternativas se podrá reconducir la situación. Como hemos explicado, debido a las circunstancias económicas en estos países y al reducido nivel de desarrollo de sus infraestructuras en lo relacionado al transporte y la distribución, las tecnologías de extracción de agua desde el subsuelo se han demostrado efectivas a la hora de asegurar el acceso a fuentes de agua no contaminadas.

A través de este trabajo pretendíamos delimitar hasta que punto la tecnología del bombeo manual era capaz de resolver estos problemas de abastecimiento de agua. Para realizar este estudio y con el objetivo fijado de revisar todos los parámetros que caracterizan estas instalaciones hemos realizado un análisis de carácter multidisciplinar que nos ha proporcionado las siguientes aportaciones.

- El aumento en la demanda de agua debida al crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y principalmente a la expansión del cultivo de regadío junto al incremento de las cargas contaminantes ha hecho que la cantidad de agua existente para todos los usos está comenzando a escasear. Cerca de una tercera parte de la población del planeta vive en países que sufren estrés hídrico o escasez de agua entre moderado y alto, es decir el consumo de agua es

## Capítulo 5. Conclusiones y desarrollo futuro del informe

---

superior al 10 por ciento de los recursos renovables de agua dulce. Unos 80 países, que representan el 40 por ciento de la población mundial, sufrían una grave escasez de agua a mediados del decenio de los noventa y se calcula que en menos de 25 años dos terceras partes de la población mundial estarán viviendo en países con estrés hídrico.

- A causa de esta escasez de agua potable, se estima que más de 1100 millones de personas sobrevive con un consumo de agua inferior a lo imprescindible para evitar afecciones en su salud. Calculándose, en más de 2400 millones las que se ven obligadas al consumo de agua de fuentes no saneadas, con el daño sobre su salud que esto ocasiona.

- La tecnología del bombeo manual se ha desarrollado notablemente en los últimos 30 años, presentándose como una opción adecuada dentro de las fuentes de abastecimiento de agua no contaminada en el ámbito rural, para países en vías de desarrollo. Solo en África 258 millones de personas en el ámbito rural dependen de esta tecnología para su abastecimiento según datos de UNICEF en el año 2000.

- La única forma de implementar soluciones reales y perdurables estará fundamentada en la transferencia de conocimientos y experiencia entre los diferentes países patrocinada a través del financiamiento de los países ricos, que al mismo tiempo han de evitar caer en dinámicas del pasado en el que asumían toda la ayuda y cooperación técnica impidiendo ese trasvase de información imprescindible.

- Se determinó el consumo mínimo diario de agua potable en una persona para garantizar que su salud no se vea afectada por la escasez. Se establecieron tres categorías fundamentales. Para el consumo directo de agua diario es imprescindible el poder acceder al menos a 5,5 litros. Para la preparación de comidas serán imprescindibles al menos 2 litros, y para asegurar una higiene adecuada la cantidad de agua ha de estar directamente relacionada con la distancia a la fuente, ya que si esta aumenta es el agua empleada para la higiene la que directamente se ve reducida. Por todo esto y de acuerdo con los informes de la OMS será imprescindible asegurar la accesibilidad de al menos entre 50 y 75 litros por persona y día con la fuente de abastecimiento situada a menos de cinco minutos del domicilio de los usuarios.

- El criterio para considerar apropiada una bomba de mano se define a partir de que su diseño la haga apta para su funcionamiento y mantenimiento a nivel del poblado (criterio VL0M). La bomba debe ser capaz de resistir el deterioro causado por el uso; pero, lo que es aún más importante, debe estar diseñada y fabricada de forma tal que los pobladores debidamente adiestrados pudieran mantenerla y repararla, y actuar como administradores del servicio que proporciona.

- Existe cierto vacío dentro de los proyectos encargados de dimensionar un sistema de bombeo manual a la hora de considerar con precisión la importancia de una estimación precisa de la potencia desarrollable por los usuarios de las bombas. Sin esta delimitación del esfuerzo humano, caracterizada por las circunstancias de cada grupo al que se destina el sistema, los cálculos basados en el caudal extraíble por la bomba en cuestión nunca podrán ser tan ajustados como deberían. Para una población como la que corresponde a las clases medias y altas del primer mundo, bien alimentada, con un desarrollo corporal regular y una cotidianidad marcada por un esfuerzo físico limitado, recogeremos los datos proporcionados por la ergometría de



## Capítulo 5. Conclusiones y desarrollo futuro del informe

---

2W/Kg de peso para hombres y de 1,5W/Kg para mujeres de entre 20 y 30 años para sistemas accionados manualmente a través de manivela y de 2,6W/Kg para hombres y 2W/Kg para mujeres en sistemas que emplean un mecanismo de bombeo por pedaleo. A estas potencias relativas habremos de añadir las particularidades marcadas por la edad y el sexo o por las circunstancias que condicionen el abastecimiento como la distancia a la fuente, el tiempo de bombeo, la ergonomía del equipo, las condiciones atmosféricas o los hábitos culturales relacionados con el esfuerzo físico. Las restricciones porcentuales respecto a la potencia nominal ideal a causa de estos condicionantes se encuentran recogida en la tabla 3.2.7.

- Será imprescindible delimitar con qué profundidad de bombeo trabajará la bomba a lo largo de su vida útil, definiendo un intervalo ajustado de la altura a la que se encuentra el nivel del agua subterránea en el pozo y considerando si durante el año existirán variaciones notables en ese nivel de trabajo. Además se debe conocer hasta que punto un uso intensivo de los mismos puede llegar a implicar un ritmo de consumo de agua en el pozo que impida su recarga completa. En esta línea y como elemento definitivo en la capacitación de los equipos y en el cálculo del tiempo empleado en el abastecimiento, queda clara la trascendencia del dimensionamiento de los caudales de bombeo del equipo, y por supuesto del rendimiento de los mismos.

- La tecnología de bombeo manual más extendida está fundamentada en un mecanismo de pistón. Existen diseños diferentes en función de la altura de bombeo. Hasta los siete metros de profundidad la bomba más empleada es la bomba de succión, de esos 7 metros a los 20 se usa la bomba de acción directa. A partir de esa profundidad se utilizan bombas de pozo profundo el modelo Afridev, y la Indian Mark III son los más habituales. Más allá de los 45 metros el caudal que se puede extraer es insuficiente, requiriendo además esfuerzos que ya hemos planteado inaccesibles en este ámbito de actuación. Las bombas de pistón aunque retiran menos caudal con el aumento de la altura de bombeo, incrementan su rendimiento acercándose al comportamiento ideal, debido principalmente a que los equipos que han de trabajar a mayores profundidades presentan una tecnología más desarrollada, con materiales más ligeros y con pérdidas inferiores.

- Los resultados publicados por los organismos que trabajan con bombas manuales no cumplen las limitaciones de esfuerzo o fuerza máxima reales. Además los resultados de caudal recogido en algunas ocasiones, parecen excesivos para la realidad del resto de las pruebas o de los cálculos teóricos, con lo que podremos dudar de su autenticidad. Como observamos en la gráfica 3.3.2 existen numerosos casos en los que los datos de funcionamiento que presentan los organismos o empresas de la tabla 3.3.1 están por encima de los valores que hemos diseñado como medios o incluso son superiores a los máximos.

- Una vez realizada la comparación entre los valores de los parámetros fundamentales de los dos mecanismos con más aceptación dentro del bombeo manual, los basados en el mecanismo de pistón y los fundamentados en una cuerda con pistones (mecate), comprobamos que los regímenes de funcionamiento de ambos son muy similares en lo relativo al caudal extraído por la instalación. Aún así existen notables diferencias entre ambas tecnologías. En las bombas de mecate no existen fuerzas dinámicas ya que el accionamiento de la manivela es rotacional, además la presión en el tubo de subida a profundidades elevadas es menor,

## Capítulo 5. Conclusiones y desarrollo futuro del informe

---

equivalente a la columna de agua entre dos pistones. Su uso es más sencillo, así como su tecnología, mantenimiento y reparación.

- Se ha realizado el diseño de una instalación. Quedó demostrada la trascendencia de la distancia del domicilio a la bomba, tanto a la hora de decidir el número de bombas que serán necesarias como en el momento de alcanzar un consumo de agua que evite enfermedades relacionadas con la escasez o el saneamiento. Este criterio de diseño en el ámbito rural será en muchas ocasiones más exigente que el número de usuarios que puede abastecer una bomba asegurando volúmenes de agua recogida aceptables. Mediante los cálculos de diseño estableceremos qué sistema de bombeo es el más adecuado y qué rendimiento se le presupone. Introduciremos el cálculo del tiempo de bombeo por familia, que nos indicará el tiempo que se gasta en el abastecimiento dificultando así la educación de los hijos o la economía familiar. Por último este análisis facilita una delimitación de la potencia que se desarrollará de media sobre el equipo de bombeo y cual será su régimen de funcionamiento.

A partir de este trabajo nos hemos introducido en el estudio de la capacidad real del bombeo manual de resolver algunas de las situaciones de escasez de agua dentro de poblaciones rurales dentro de los países menos desarrollados. Solo a través de un desarrollo futuro de esta línea comenzada aquí podremos dimensionar verdaderamente esta tecnología. Resulta muy interesante la posibilidad de la instalación de algunos de estos equipos en un banco de pruebas dentro de la universidad que permita contrastar todo lo planteado en este proyecto. Esta tecnología esta registrando una fuerte expansión en América central y en África, muchos de los modelos todavía están en fase de experimentación, y un estudio más profundo y experimental, sobre el diseño de distintos mecanismos que conforman cada tipo, puede ofrecer resultados que mejoren aún más el rendimiento de estos equipos.

## 6 Bibliografía

- Ahrtag (1995). Ahrtag resource list: information for health on diarrhoeal diseases: an international listing of sources of resource materials and organisations.
- Alerts, H. (2000). 'Community rope pumps in Nicaragua; a private sector approach', Village Power.
- Almedom, Astier M., Blumenthal, Ursula, and Manderson, Lenore. (1997). Hygiene Evaluation Procedures: Approaches and methods for assessing water- and sanitation-related hygiene practices. UNICEF
- Anil, A., Kimondo, J., Moreno, G., and Tinker J. Water, Sanitation, (1981). Health - For All Prospects for the International Drinking Water Supply and Sanitation Decade, 1981-90. Londres.
- Anton, D.J. (1990). Urban environments and water supply in Latin America with emphasis on groundwater. Montevideo: IDRC, Regional Office for Latin America and the Caribbean.
- Argaw, N. (1996). Evaluation of Photovoltaic Water Pumps and Estimation of Solar energy Availability in Ethiopia. Ph.D. thesis. Tampere, Finland: Tampere University of technology.
- Arlosoroff S. (1987). Community Water Supply: The Handpump Option, World Bank, Washington.

## Bibliografía

---

- Arlosoroff, S., Tschannerl, G., Grey, D., Journey, W., Karp, A., Langenegger, O. and Roche, R. (1987) Community Water Supply: the handpump option. The World Bank: Washington D.C.
- Aziz et al, B. A. Hoque, S. R. A. Huttly, K M. Minnatullah, Z. Hasan, M. K Patwary, M. m. Rahaman, S. Cairncross. (1990). Water Supply, Sanitation and Hygiene Education Report of a health Impact Study in Mirzapur, Bangladesh
- Bachmat, Y. (1989). Management of groundwater observation programmes. Ginebra: OMS.
- Bajracharya, D. (1995) UNICEF and the Challenge of Sustainable Development: An Overview. Nueva York: UNICEF.
- Bakalian, Wright, Otis, and Netto. (1994). Simplified Sewerage: Design Guidelines. Washington: Banco Mundial.
- Ball, Colin and Ball, Mog. (1991). Water Supplies for Rural Communities. Londres: IT Publications.
- Banco mundial. (1985). Laboratory Testing of Handpumps for Developing Countries: Final Technical Report.
- Banco Mundial. (1993). Water Resources Management: A World Bank Policy Paper. Washington: Banco Mundial.
- Banco Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Interregional Project for Laboratory and Field Testing and Technological Development of Rural Water Supplí Handpumps. (1986). Draft sample bidding documents for the procurement of handpumps. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Bartram J, (1999). Effective Monitoring of Small Drinking-water Supplies in Providing Safe drinking-water in Small Systems, Cotruvo A, Craun G and Hearne N (Eds). CRC Press, boca Raton, USA, pp: 353-365.
- Baumann E. (2000). Water lifting. Published by: SKAT, Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management.
- Baumann, Erich and Keen. (1994). "Afridev Handpump Specification, Revision 2." SwissCentre for Development Cooperation in Technology and Management (SKAT). St.Gallen, Switzerland.
- Bernage, F. (2000). 'Local private sector involvement: the Mauritania experience'. Paper presented at SKAT HTN workshop on Civil Society and Government Partnerships in RWS, hyderabad, India
- Bérriz, L.; D. Sosa; A. Núñez y Bérriz, B. (1996). La bomba eólica de cuerda, en Eco Solar.

## Bibliografía

---

- Boot, Marieke. Training Course: Evaluating Water Supply and Sanitation Projects – Course Modules. (1987) The Hague: IRC and Nueva York: UNICEF.
- Bradley D, (1977). Health aspects of water supplies in tropical countries, In Feachem R, McGarry M and Mara D, Water, wastes and health in hot climates, John Wiley and Sons, chichester, UK, pp 3-17.
- Brian Skinner and Rod Shaw VLOM pumps. (2002). WEDC Loughborough University leicestershir.
- Briscoe, J. and De Ferranti, David M. (1988). Water for rural communities: helping people to help themselves. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Bsselink et al. (1990). 'Behaviour of Deepwell Handpumps with PVC Rising Mains.' IAD handpump Project.
- Cairncross S, (1987). The benefits of water supply, In Pickford, J (ed) Developing World water. Grosvenor Press, London.
- Carter, R. (2002) Issue of Government and other agencies support. [Cmup3-11] contribution to 'Beyond the Community' E-conference on Scaling up of Community management of Rural Water Supplies.
- Centro Integrado de Tecnología Apropriada. (2001). Bomba de soga BSM C-6. Manual de montaje, instalación, explotación y mantenimiento. Camagüey: Eds. CITA.
- Centro Integrado de Tecnología Apropriada (1997). Bomba solar. Camagüey: Eds. CITA.
- Clark, Lewis. The Field Guide to Water Wells and Boreholes. (1988). Nueva York: John Wiley and Sons.
- Colin, J. (1999). VLOM for Rural Water Supply: Lessons from experience, WELL, London.
- Consumers' Association Testing & Research Laboratories (1981). "Hand/Foot-operated Water Pumps for Use in Developing Countries."
- Consumers' Association Testing & Research Laboratories (1983). Laboratory Evaluation of hand-Operated Water Pumps for Use in Developing Countries. World Bank Technical paper No. 6. Washington, D.C.: World Bank.
- Consumers' Association Testing and Research Laboratories. (1984). Laboratory testing of handpumps for developing countries: final summary report. World Bank technical paperno. 6 . Washington, D.C.: Banco Mundial
- CSD (1997a). Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Report of the Secretary-General. United Nations Economic and Social Council

## Bibliografía

---

- CSD (1997b). Overall Progress Achieved Since the United Nations Conference on Environment and Development. Report of the Secretary-General. Addendum - Protection of the Quality and Supply of Freshwater Resources: Application of Integrated Approaches to the Development, Management and Use of Water Resources. United Nations Economic and Social Council.
- Curtis, Val. (1986). Women and the transport of water. Londres: Intermediate Technology Publications.
- Darrow, Ken and Saxenian, Mike. (1993). Appropriate technology sourcebook: a guide to practical books for village and small community technology. Stanford, CA, USA, Appropriate Technology Project, Volunteers in Asia.
- Duncan, Colin. (1996). "Afridev Shallow Water Well Handpump Cylinder Liner Damage" c&M Engineering Ltd. Calgary, Alberta, Canada.
- Elson R.J. and Shaw R.J.(1993). Technical Brief No. 35: Low-lift irrigation pumps, Waterlines Vol.11 No.3, IT Publication.
- Engbers H. (1997). The WOT-field: A test-site for small scale sustainable energy applications.
- Erpf K. (2003). Installation and Maintenance Manual for the Afridev Handpump SKAT HTN publication.
- Erpf K. (2005). RWSN-SKAT. The Rope Pump Concept.
- Esrey SA, Feachem RG and Hughes JM, (1985). Interventions for the control of diarrhoeal diseases among young children: improving water supplies and excreta disposal facilities, bulletin of the World Health Organization.
- FAO (2001). AQUASTAT — FAO's information system on water and agriculture.
- Fraenkel, P.; Barlow, R.; Crick, F.; Derrick, A.; Bokalders, V. (1993). Windpumps: A guide for Development Workers. Radford Mill, Nottingham, UK: IT Publications Ltd., the Russell Press.
- Franceys R. (1987). Technical Brief No. 13: Handpumps, Waterlines Vol.6 No.1, IT Publications.
- Fsrey, S. A. and Habicht, J-P. (1983). Nutritional anthropometric indicators for evaluating water and sanitation projects. Paper presented at the International Workshop on Measuring the Health Impact of Water Supply and Sanitation Projects, Cox's Bazar, Bangladesh.
- Garnet (1995). Handpump Technology Network
- Gleick P H, (1996). Basic water requirements for human activities: meeting basic needs, water International, 83-92.

## Bibliografía

---

- Gleick, P.H. (1993). *Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources*. New York, Oxford University Press.
- Goh, Sing Yau. (1985) "Laboratory and Field Testing of Hand- pumps." IDRC-TS51e. Ottawa: international Development Research Centre.
- Gordan, Raymond W. (1995). *Water Well Drilling with Cable Tools*. South Milwaukee, Wisconsin: Bucyrus-Erie Company.
- Gorter A C, Sandiford P, Smith G D and Pauw J P, (1991), Water supply, sanitation and diarrhoeal disease in Nicaragua: results from a case-control study, *International Journal of epidemiology*, 20(2): 527-533
- Gould, John E. (1991). *Rainwater Catchment Systems for Household Water Supply*, Environmental Sanitation Review No. 32. Bangkok, Thailand: Environmental Sanitation Information Center (ENSIC).
- Gray, Kenneth D. (1984). "Working Towards Village-Based Hand- pump Maintenance - UNICEF's Approach in India." pp. 26-28.
- Grey, David. (1984). "Meeting Notes: Handpump Design Meeting, Msambweni, Kwali District, Kenya, November 18-22 1984." World Bank.
- Haemhouts, J., Hemert, B. van, Galiz, O.A. & Orozco, O.S. (1991). *La bomba de mecate. El desafío de la tecnología popular*.
- Hahn, Robert. (1983). "Handpump Testing and Development. Part 3 - New Design: Particle separator Foot Valve and Rod Guide.
- Handpumps: Issues and concepts in rural water supply programmes. (1988) IRC Technical Paper No. 25, International Water and Sanitation Centre (IRC), The Hague.
- Hofkes, E.H: (1984). "Practical Handpump Maintenance Systems: Synthesis of Information and experience from Handpump Maintenance Systems in Twelve Developing Countries." paper for International Reference Centre for Community Water Supply and Sanitation. the Hague: IRC.
- Idelovitch, Emanuel and Ringskog, K. (1995). *Private Sector Participation in Water Supply and Sanitation in Latin America*. Washington: Banco Mundial.
- IPCS, (1994). *Environmental Health Criteria 170: Assessing human health risks of chemicals:derivation of guidance values for health-based exposure limites*. WHO Geneva.
- Journey, William K. (1978) "A Hand Pump for Rural Areas of Developing Countries." World bank Utilities Department Working Paper No. RES 9(a). Washington, D.C.: The World Bank.

## Bibliografía

---

- Krishna, Sumi. (1985) "Handpumps for Health: Water Use in Village India." New Delhi: Water and Environmental Sanitation Section, UNICEF.
- La Bomba de Mecate: Transferencia de Tecnología de Nicaragua hacia Ghana por el sector Privado. (2002). Programa de Agua y Saneamiento.
- Lloyd B and Helmer R, (1991). Surveillance of drinking water quality in rural areas. longman, London.
- Martin-Loeches M. (2005). Tecnologías apropiadas de captación y elevación de agua en contextos de desarrollo. Departamento de geología de la universidad de Alcalá.
- McJunkin, F. Eugene. (1997) "Handpumps for Use in Drinking Water Supplies in Developing countries." IRC Technical Paper No. 10. The Hague: International Reference Centre for community Water Supply.
- McKee, Neill. Social Mobilization and Social Marketing in Developing Communities: Lessons for Communicators. (1992) Penang, Malasia.
- Meybeck, M., Chapman, D. and Helmer, R. (1990). Global Freshwater Quality: A First Assessment. Cambridge, Massachusetts, Basil Blackwell.
- Michael. A. M, Kephars. S. D, (1989), 'Water Well and Pump Engineering' Tata McGraw Hill, Delhi.
- Montecinos A. y L. Gallardo.(1988) Tecnologías apropiadas para el abasto de agua. Especificaciones técnicas. Camagüey: Eds. CITA.
- Montecinos, A. (1997). Bomba de soga. Camagüey: Eds. CITA.
- Morales Reyes, Javier I. (1993). Privatization of water supply. (Institutional development series ; no. 2). Loughborough, UK, Water, Engineering and Development Centre (WEDC), Loughborough University of Technology.
- Mungall, C., and McLaren, D.J. (1990). Planet under stress: the challenge of global change. Toronto, Ont.: Oxford University.
- Nampusuor R. (2000). Report on The Performance of Afridev and Nira Handpumps on the Upper regions Community Water Project (COWAP) Ghana Report for the GWSC/CIDA Upper regions, Ghana.
- Noppen, Dolf (1996). Village Level Operation and Maintenance of Handpumps: Experiences from Karonga, Malawi . La Haya, Países Bajos, IRC International Water and Sanitation Centre.
- Okun, Daniel Alexander. (1991) Capacity Building for Water Resources Management. Nueva York: PNUD.



## Bibliografía

---

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Banco Mundial. Water sector policy review and strategy formulation: a general framework. Roma: FAO, (1995).
- Organización Metereológica Mundial. (1992) International conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century. January 1992, Dublin, Ireland (The Dublin Statement and Report of the Conference). Ginebra.
- Organización Metereológica Mundial. (1997). The world's water-is there enough? (booklet published for World Water Day). Ginebra: OMM.
- Organización Metereológica Mundial. (1986). Water Resources: assessment and monitoring. Ginebra: OMM.
- Organización Mundial de la Salud/Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, Programa Conjunto de Supervisión. Water supply and sanitation sector monitoring report (1996) (sector status as of 31 December 1994). Ginebra: OMS.
- Organización mundial de la salud (2003) Domestic water quantity, service, level and health.
- Post Uiterweer, N. (2000). Community water supply with rope pumps at family level. An evaluation of five development projects in Nicaragua and one in El Salvador. Wageningen university, The Netherlands.
- Postel, S. (1999). Last Oasis: Facing Water Scarcity. New York, W.W. Norton and Company.
- Prakash, G. (1995). Guidelines for Quality Control and Quality Assurance of Afridev Handpump. St. Gallen, Switzerland: Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management.
- Reynolds, J. (1992). 'Handpumps: Toward a Sustainable Technology', UNDP World bank Water and Sanitation Program.
- Rivera, Daniel. (1996). Private sector participation in the water supply and wastewater sector: lessons from six developing countries. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Roark, P. (1990). Evaluation guidelines for community based water and sanitation projects – WASH technical reportno.64. Arlington, Va.: WASH.
- Roark, P.Hodgkin, J.Wyatt, A. (1993). Models of management systems for the operation and maintenance of rural water supply and sanitation facilities - WASH technical reportno.71. Washington, DC: Water and Sanitation for Health Project, USAID, 1993.
- Rogerson, Christian M. (1994). Assessing Effective Demand of Communities for Water. Nairobi: UNCHS.

## Bibliografía

---

- Samanta, B.B.; Roy, Dipak; and Dutta, T.N. (1986). "Survey on the Performance of India Mark II deepwell Handpumps: "Maintenance, Repair Systems and Costs." Bhubaneswar, India: operations and Research Group.
- Shiklomanov, I.A. (1993). World freshwater resources. In P. H. Gleick (ed.), *Water in crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources*. New York, Oxford University Press.
- The Handpump Option. Rural Water Supply Handpumps Project (1987). Community Water supply. Banco Mundial.
- Thompson J, Porras I T, Tumwine J K, Mujwahuzi M R, Katui-Katua M, Johnstone N and wood L, (2001), *Drawers of Water II: 30 years of change in domestic water use and environmental health in East Africa*.
- Tschannerl, G., and Bryan, K. (1985). Workshop on the State of the Art and Application of Handpumps and on Water Supply and Sanitation (1984: Ch'ang-sha shih, China). Washington, D.C., U.S.A.: Banco Mundial.
- UN (1999). Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Report of the Secretary-General. United Nations Division for Sustainable Development.
- UNICEF. Manual sobre el agua (1999).
- Van Beers, P. (2001a) 'Leasing, a new Handpump O&M concept', in Scott, R. (ed.) proceedings of 27th WEDC Conference, Lusaka, Zambia, August 2001. WEDC, Loughborough University: UK.
- Van Beers, P., Van Hemert, b., Orozco, O.S., Haemhouts, J. and Galíz, O.A. (1992) *The Rope Pump: The challenge of popular technology*. INAA/Rural Aqueduct Directive (DAR).
- Van der Hoek W, Feenstar SG and Konradsen F, (2002), Availability of irrigation water for domestic use in Pakistan: its impact on prevalence of diarrhoea and nutritional status of children, *Journal of Health, Population and Nutrition*, 20(1): 77-84.
- Watt, S.B. and Wood, W.E. (1981). *Hand Dug Wells and their Construction*. Londres: ITDG.
- WCD (2000). *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*. The Report of the World Commission on Dams. London, Earthscan.
- Wegelin, Martin. (1996) *Surface Water Treatment by Roughing Filters*. Dübendorf, Switzerland: Department for Water & Sanitation in Developing Countries (SANDEC), Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG).
- White G F, Bradley D J, White A U, (1972). *Drawers of water: domestic water use in East Africa*, University of Chicago Press, Chicago.

## **Bibliografía**

---

WHO and UNICEF (2000). Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report. Geneva and New York, World Health Organization and United Nations Children's Fund.

World Water Council (2000a). World Water Vision Commission Report: A Water Secure World. Vision for Water, Life and the Environment. World Water Council.

World Water Council (2000b). World Water Vision: Making Water Everyone's Business. London, Earthscan.

World Water Forum (2000). Ministerial Declaration of The Hague on Water Security in the 21st Century. World Water Forum.

## **7 Listado de organizaciones internacionales relacionadas**

BNWPP The Bank-Netherlands Water Partnership Program  
<http://www-esd.worldbank.org/bnwpp/>

Bombas de mecate  
<http://www.ropepumps.org/>

BVSDE Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental  
<http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>

CEPIS Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente  
<http://www.bvsde.ops-oms.org/cepis/e/cepisacerca.html>

FAO Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación  
<http://www.fao.org/>

FAN Freshwater action network  
<http://www.freshwateraction.net/>

GARNET Global applied research network

---

**Universidad Carlos III de Madrid**  
**Departamento de Ingeniería térmica y de fluidos. Área de Ingeniería térmica**

## Listado de organizaciones internacionales relacionadas

---

<http://info.lut.ac.uk/departments/cv/wedc/garnet/grntover.html>

IDE International Development Enterprises

<http://www.ide-international.org/>

IDRC/CRDI Centro internacional de investigación para el desarrollo

[http://www.idrc.ca/es/ev-1-201-1-DO\\_TOPIC.html](http://www.idrc.ca/es/ev-1-201-1-DO_TOPIC.html)

IRC Internatinal water and sanitation center

<http://www.irc.nl/>

ISF Ingeniería sin fronteras

<http://www.ingenieriasinfronteras.org/home/index.php>

ITDG Programa de Nuevas Tecnologías de Soluciones Prácticas

<http://www.itdg.org.pe/>

Life water Canada

<http://www.lifewater.ca/>

OIEAU Oficina internacionalal del agua

<http://www.oieau.fr/>

PAHO/OPS Oficina Regional Panamericana de la Organización Mundial de la Salud

[http://www.paho.org/default\\_spa.htm](http://www.paho.org/default_spa.htm)

Right to water

<http://www.righttowater.org.uk/>

RWSN Rural water supply network

<http://www.rwsn.ch/>

SANDEC Department of Water and Sanitation in Developing Countries

<http://www.sandec.ch/>

SKAT Swiss resource centre and consultancies for development

<http://www.skat.ch/>

The rope pump

<http://www.ropepump.com/>

UNDP/PNUD Programa de naciones unidas para el desarrollo

<http://www.undp.org/>

UNEP United nations environment programme

<http://www.unep.org/>

## Listado de organizaciones internacionales relacionadas

---

UNICEF Water, environment and sanitation  
<http://www.unicef.org/wes/index.html>

Wateraid  
<http://www.wateraid.org/uk/default.asp>

WB/BM Banco mundial  
<http://www.bancomundial.org/>

WEDC Water, Engineering and Development Centre  
<http://www.wateraid.org/uk/default.asp>

WELL Water and environmental health at London and Loughborough  
<http://www.lboro.ac.uk/well/index.htm>

WHO/OMS Organización mundial de la salud  
<http://www.who.int/es/>

WP Water portal  
<http://www.unesco.org/water/>

WSP Water and sanitation program  
<http://www.wsp.org/>

WSSCC Water supply & sanitation collaborative council  
<http://www.wsscc.org/home.cfm>

WWAP Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos  
[http://www.unesco.org/water/wwap/index\\_es.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml)